

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

Návrh RTP s roboty ABB

Design of a Robotized Production Cell with the ABB Robots

Student:

David Hanzlík

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Burkovič, Ph.D.

Ostrava 2010

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 21.5.2009

.....

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.5.2010

.....

Jméno a příjmení autora práce:

David Hanzlík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Strahovice 74, 747 30

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HANZLÍK, D. *Návrh RTP s roboty ABB*, Ostrava: Katedra Robotechniky - 354, Fakulta strojní, VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010, 65 s. Bakalářská práce, vedoucí: Ing. Burkovič Jan, Ph.D.

Bakalářská práce je zaměřena na projektování jednoduchého technologického robotizovaného pracoviště, které musí splňovat hygienické požadavky laboratoře. V úvodu této práce je vypracovaná rešerše na problematiku využití robotů ABB v laboratoři UCR z hlediska technologií. Na základě rešerše jsou navrženy tři alternativní varianty technologií a vhodné dispoziční uspořádání robotizovaných pracovišť, které jsou dále vyhodnoceny pomocí hodnotové analýzy. Z této analýzy vzešla optimální varianta. Pro tuto variantu jsou dále navrženy jednotlivé potřebné komponenty a vypracováno konstrukční řešení vybraného uzlu. Vytvořené dispoziční uspořádání pracoviště i konstrukční řešení vybraného uzlu jsou zdokumentovány ve výkresové dokumentaci a 3D modelu.

ANNOTATION OF THESIS

HANZLÍK, D. *Design of a Robotized Production Cell with the ABB Robots*, Ostrava: Department of Robotechnics, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB - Technical University of Ostrava, 2010, 65 p, Bachelor Thesis, Head: Ing Jan Burkovič, Ph.D.

Bachelor's work is focused on designing simple technological robotized workplace, which must meet hygienic needs of laboratory. In the introduction of this work, there is a research about problems of using ABB robots in UCR labs in terms of technology. Based on this research are three alternative variants of technologies with suitable dispositional lay-outs of robotized workplaces, which are later evaluated using value analysis. The outcome of this analysis was the optimal variant. For this selected variant, individual needed components are proposed and construction solution of chosen node is developed. The created dispositional lay-out of workplace as well as construction solution of chosen node are documented in technical drawing documentation and also in 3D model.

Obsah

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ.....	8
ÚVOD.....	10
1 ANALÝZA.....	11
1.1 POPIS HLAVNÍCH ZNAKŮ ROBOTU IRB 140.....	12
1.2 ZÁKLADNÍ PARAMETRY ROBOTU IRB 140.....	13
1.3 KINEMATICKÁ STRUKTURA ROBOTU	14
1.4 SEZNAM APLIKACÍ A POPIS TECHNOLOGIÍ	15
1.5 TECHNOLOGIE VHODNÉ PRO POUŽITÍ V LABORATOŘI.....	21
2 NÁVRH JEDNOTLIVÝCH PRACOVÍŠŤ	22
2.1 VARIANTA 1	23
2.2 VARIANTA 2	24
2.3 VARIANTA 3	25
3 VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	27
3.1 HODNOTY KRITÉRIÍ	27
3.2 VÝZNAMNOST KRITÉRIÍ	27
3.3 HODNOTÍCÍ KRITÉRIA	28
3.4 URČENÍ VÝZNAMNOSTI METODOU TROJÚHELNÍKU PÁRŮ	28
3.5 URČENÍ VÁHY VÝZNAMNOSTI.....	30
3.6 HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT.....	30
3.7 VYHODNOCENÍ A URČENÍ IDEÁLNÍ VARIANTY	31
4 VYPRACOVÁNÍ OPTIMÁLNÍ VARIANTY	32
4.1 VOLBA OBJEKTU MANIPULACE (DÁLE V TEXTU POD ZKRATKOU OM)	32
4.2 NÁVRH EFEKTORU.....	33
4.2.1 Stanovení úchopové síly.....	33
4.2.2 Volba efektoru.....	35
4.3 NÁVRH TECHNOLOGICKÉ HLAVICE.....	37
4.4 ANALÝZA SVĚRÁKŮ	38
4.4.1 Pneumatické svěráky.....	39
4.4.2 Elektrické svěráky	40
4.5 NÁVRH ALTERNATIVNÍCH VARIANT SVĚRÁKŮ	43
4.5.1 Varianta A.....	43
4.5.2 Varianta B.....	46
4.6 VOLBA OPTIMÁLNÍ VARIANTY SVĚRÁKU	47

4.7	PNEUMATICKÝ SVĚRÁK.....	48
4.7.1	Obvodové schéma	48
4.7.2	Návrh šroubů pro pevnou čelist svěráku.....	49
4.7.3	Výpočet spotřeby stlačeného vzduchu.....	52
4.7.4	Pokyny pro správné a bezpečné použití výrobku.....	53
4.7.5	Konečné úpravy a řešení návrhu.....	53
4.8	ČASOVÁ STUDIE TECHNOLOGICKÉ OPERACE	55
4.9	NÁVRH PRACOVNÍHO STOLU PRO UPNUTÍ SVĚRÁKU.....	56
4.10	NÁVRH ODKLÁDACÍCH STOLŮ PRO ROBOTY	56
4.11	CENOVÁ STUDIE	57
4.12	TEORETICKÉ ŘEŠENÍ POTŘEBNÝCH APLIKACÍ PŘI PRAKTICKÉM POUŽITÍ.....	58
5	ZÁVĚR	60
6	REFERENCE.....	63
6.1	POUŽITÁ LITERATURA	63
6.2	INTERNETOVÉ ZDROJE.....	63
6.3	KATALOGY	64
6.4	AKADEMICKÉ PRÁCE.....	64
7	SEZNAM PŘÍLOH.....	65
7.1	DOKUMENTACE.....	65
7.2	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE.....	65
7.3	PŘÍLOŽENÝ DISK.....	65
8	PŘÍLOHY - DOKUMENTACE	

Seznam použitého značení

Značka	Veličina	Jednotky
a_v	Vertikální zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
D	Průměr pístu	$[mm]$
d_2	Střední průměr závitu	$[mm]$
d_3	Malý průměr závitu	$[mm]$
d_{max}	Maximální průměr hlavy šroubu	$[mm]$
d_{min}	Průměr díry pro šroub	$[mm]$
d_s	Střední průměr stykové plochy hlavy šroubu s materiálem	$[mm]$
F	Síla působící na OM při vertikálním zrychlení	$[N]$
F_{max}	Maximální síla	$[N]$
F_{Nx}	Síla nástroje v ose x působící na OM	$[N]$
F_{Ny}	Síla nástroje v ose y působící na OM	$[N]$
F_T	Třecí síla	$[N]$
F_U	Upínací síla	$[N]$
F_Z	Síla v závitu	$[N]$
F_{0C}	Celková osová přepět'ová síla	$[N]$
F_0	Osová přepět'ová síla působící na jeden šroub	$[N]$
f	Koeficient tření	$[-]$
f_H	Koeficient tření mezi hlavou šroubu a materiálem	$[-]$
f_Z	Součinitel smykového tření na závitu	$[-]$
g	Gravitační zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
H	Zdvih	$[mm]$
k	Koeficient bezpečnosti	$[-]$
k_s	Bezpečnost k mezi kluzu	$[-]$
M_{TH}	Třecí moment pod hlavou šroubu	$[N \cdot mm]$
M_{TZ}	Třecí moment v závitu	$[N \cdot mm]$
M_U	Utahovací moment	$[N \cdot mm]$
m	Hmotnost OM	$[kg]$
N	Normálová síla	$[N]$
n	Počet zdvihů	$[-]$
p	Počet značků	$[-]$
p_n	Rozteč	$[mm]$

Značka	Veličina	Jednotky
Q	Objemový průtok	[Nm ³ · cyklus]
q	Váha významnosti	[-]
R	Reakční síla	[N]
Re	Mez kluzu	[MPa]
T	Třecí síla	[N]
TP	Jakostní skupina	[-]
t	Čas	[s]
V	Objem	[m ³]
W	Modul průřezu v krutu	[mm ³]
z	Počet šroubů	[-]
α	Úhel profilu závitu	[°]
β	Součinitel neznámého krutu	[-]
ε	Úhlové zrychlení	[rad · s ⁻²]
φ'	Redukovaný třecí úhel	[°]
π	Ludolfovo číslo	[-]
σ_{Dt}	Dovolené napětí v tahu	[MPa]
σ_{RED}	Redukované napětí	[MPa]
σ_t	Napětí v tahu	[MPa]
τ_K	Napětí v krutu	[MPa]
ω	Úhlová rychlost	[rad · s ⁻¹]
ψ	Úhel stoupání závitu	[°]

Úvod

Roboty ABB mají v dnešní době vysoký rozsah využití a to ve všech odvětvích průmyslu. Od roku 1999, kdy byly úspěšně do průmyslu zavedeny, se jejich stupnice využití stále rozrůstá. Průmyslové roboty se zavádějí za účelem modernizace a automatizace výroby.

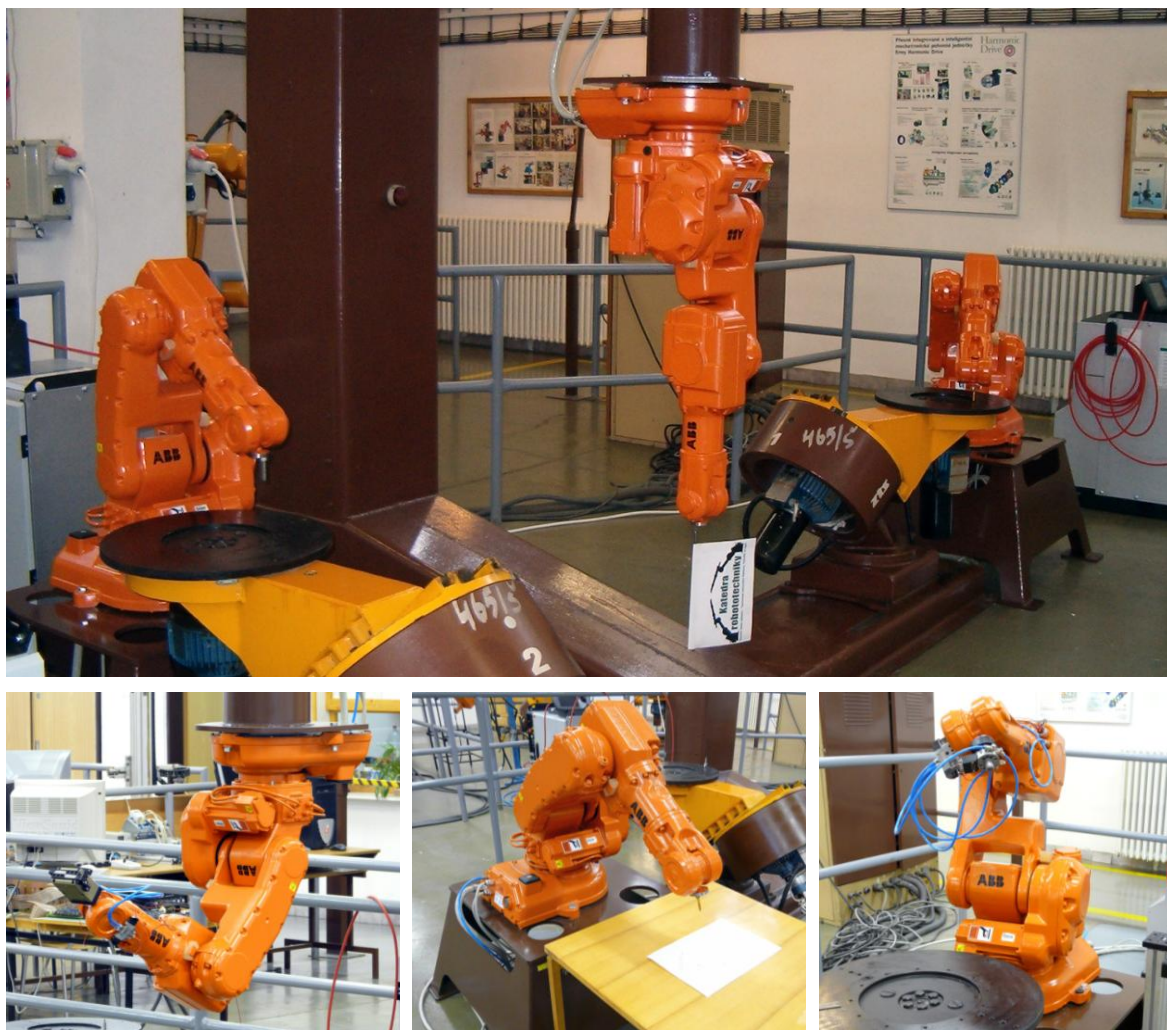
Cílem této bakalářské práce je navrhnout vhodné technologické robotizované pracoviště s dvěma až třemi roboty společnosti ABB typu IRB 140. První část této bakalářské práce je věnována analýze robotu a jednotlivých technologií, ve kterých se tento robot využívá.

Po této analýze byly navrženy tři varianty řešení, z kterých vzejde pomocí vhodné hodnotové analýzy optimální varianta. Při návrhu je kladen důraz na to, aby výsledná varianta vyhovovala hygienickým podmínkám katedry. Konečná varianta bude dále rozpracována dle požadavků zadání, upřesněna prostorovým modelem a doložena výkresovou dokumentací.

1 Analýza

V současnosti je k dispozici na Katedře robototechniky, Vysoké školy báňské - technické univerzity Ostrava, malé robotizované pracoviště s třemi roboty ABB typu IRB 140 (*Obr. 1*). Tyto roboty se vyznačují spolehlivostí, rychlostí, silou, přesností, robustností a univerzálností, což má za důsledek vysokou dobu provozní schopnosti, krátkou dobu cyklu, maximální využití, flexibilní integraci výroby a v neposlední řadě použití i v náročných výrobních prostředích.

Náplní této kapitoly je popis robotu a jeho možností včetně kinematického schématu a vyjmenování technologií s jejich jednotlivým krátkým popisem, které robot IRB 140 zvládá. V konečné fázi této analýzy budou vybrány vhodné technologie, použitelné pro laboratoř.



Obr. 1 - Pracoviště s roboty ABB

1.1 Popis hlavních znaků robotu IRB 140



Obr. 2 - ABB IRB 140

Spolehlivost – vysoká doba provozu

IRB 140 je v průmyslu úspěšně zaveden od roku 1999 jako robot s vysokou dobou bezporuchového provozu a malými nároky na údržbu.

Rychlost – krátké doby cyklu

IRB 140 je nejrychlejším robotem ve své třídě.

Přesnost – stálá kvalita dílů

Tato vlastnost je zaručena vynikající opakovatelností polohy ($\pm 0,03\text{mm}$) a velmi dobrou přesností dráhy.

Síla – maximální využití

Tento robot je nejlepším zařízením ve své třídě zejména díky kombinaci užitečného zatížení 6kg a dosahu 810 mm.

Robustnost – použitelnost pro náročné výrobní prostředí

Použití např. ve slévárnách nebo svařovnách.

Univerzálnost – flexibilní umístění robotu a výroba

Roboty IRB 140 je možné montovat na ve všech pozicích (na podlahu, zeď nebo je možné je zavěsit), což dovoluje zvýšení flexibility při projektování robotizovaného pracoviště.

[9]

1.2 Základní parametry robotu IRB 140

Typ	IRB 140
Maximální dosah	810 mm
Nosnost	6 kg
Montážní pozice	Univerzální
Přesnost dráhy, opakovatelnost polohy	± 0,03 mm
Počet os	6

Tab. 1 - Hlavní parametry robotu

Maximální výška	1092 mm
Rozměr základny	400 x 450 mm
Hmotnost	98 kg
Zdroj napětí	200-600 V, 50/60 Hz
Spotřeba energie	0,4 kW
Pracovní teplota	od +5°C do +45°C
Vlhkost	max. 95%

Tab. 2 - Užitečné parametry robotu

OSA	ROZSAH	RYCHLOST
1	360°	200°/s
2	200°	200°/s
3	280°	260°/s
4	400°	360°/s
5	240°	360°/s
6	800°	450°/s

Tab. 3 - Pracovní rozsah a maximální rychlosti jednotlivých os robotu

[9]

Model pracovního prostoru robotu

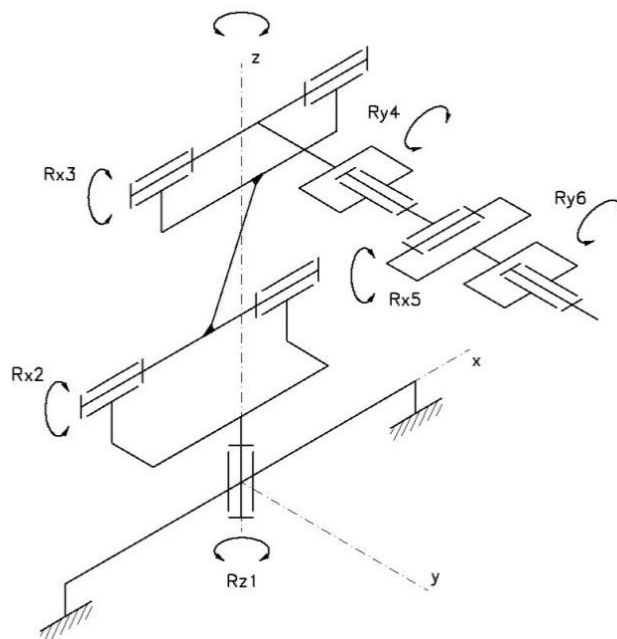
- rozměry tohoto prostoru jsou uvedeny v příloze A.



Obr. 3 - Pracovní prostor robotu

1.3 Kinematická struktura robotu

Rx	rotace v ose x
Ry	rotace v ose y



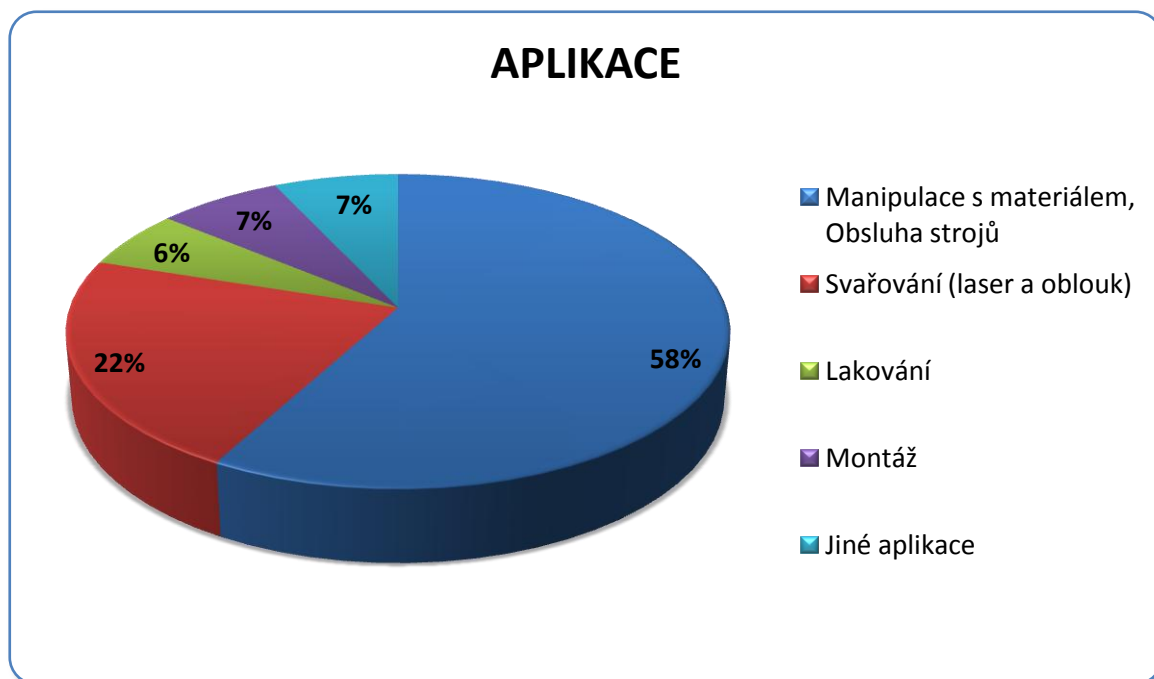
Obr. 4 - Kinematická struktura robotu IRB 140

1.4 Seznam aplikací a popis technologií

V tomto bodě budou vyjmenovány jednotlivé aplikace, ve kterých se robot IRB 140 používá. Z tohoto výčtu budou dále krátce popsány technologie. Poté budou vyčleněny optimální technologie použitelné v laboratoři.

Aplikace:

- Svařování a pájení
- Kompletace (montáž)
- Řezání
- Tlakové lití
- Lepení a nanášení hmot
- Plastikářské vstřikovací lisys
- Obsluha strojů
- Manipulace s materiálem
- Balení
- Stříkání a čištění
- Dokončovací procesy



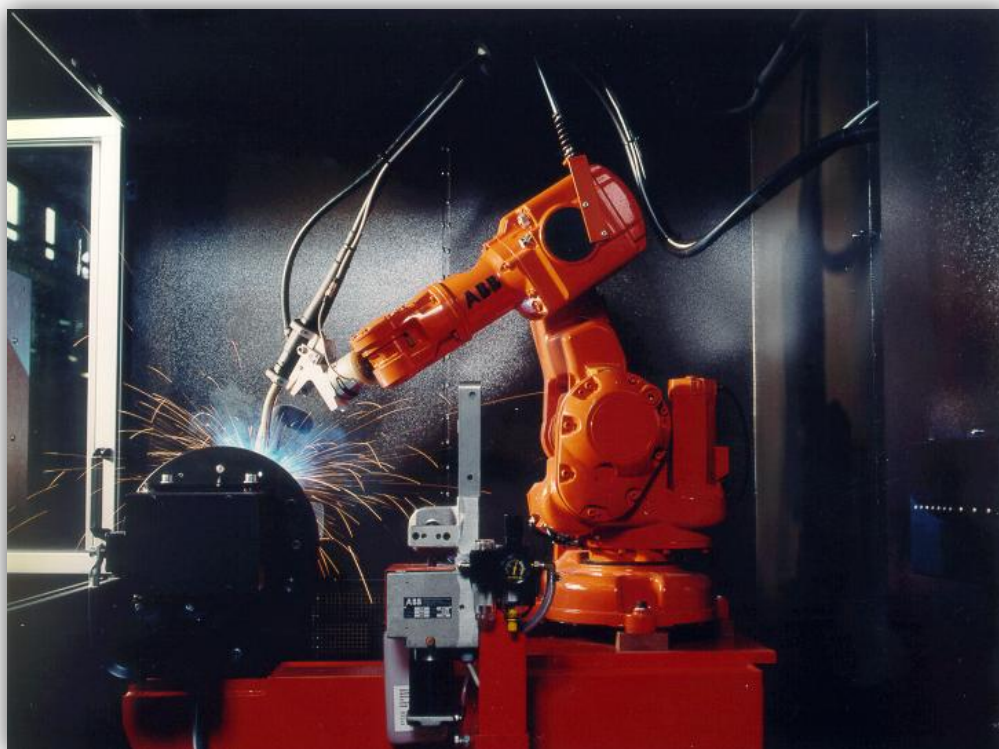
Graf. 1 - Výšečový graf hlavních aplikací

Svařování a pájení

Funkční prvky svařování a pájení vedou k dokonalým výsledkům v tomto odvětví. Pod textem jsou uvedeny jednotlivé technologie svařování, ve kterých se robot IRB 140 používá. Největší uplatnění nachází ve svařování laserem a obloukem.

Oblasti použití:

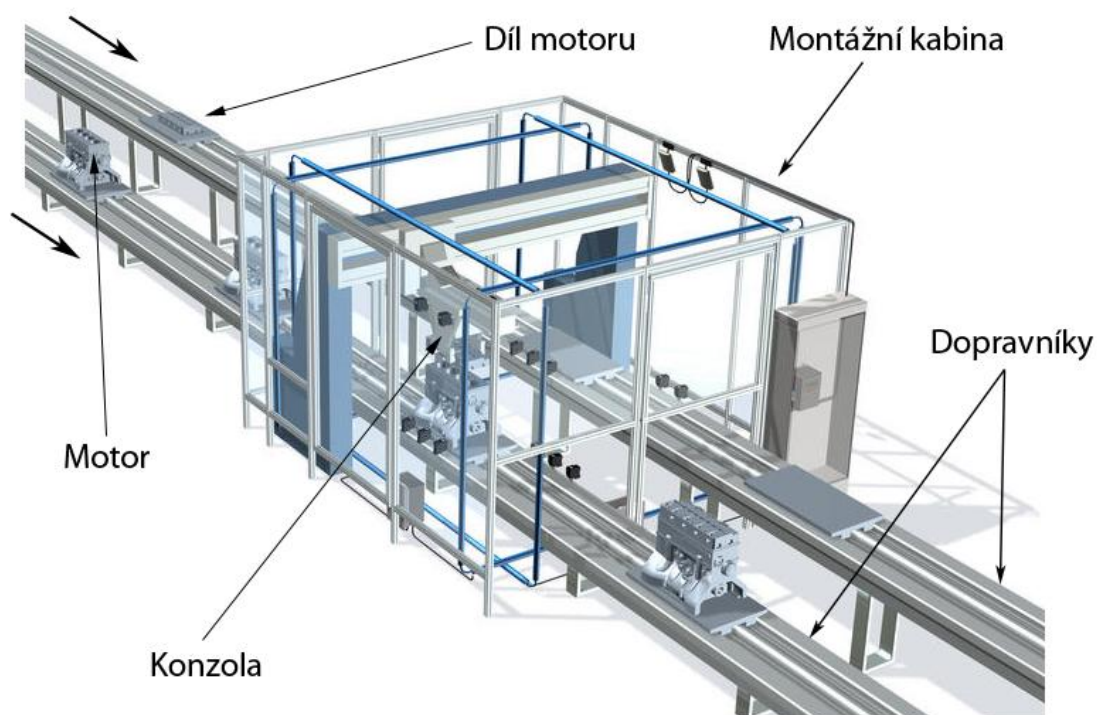
- Obloukové svařování
- Laserové svařování
- Svařování plazmou
- Švové, stehové svařování
- Bodové svařování
- Přivařování svorníků
- Tvrdé pájení



Obr. 5 - Obloukové svařování robotem IRB 140

Kompletace - Montáž

V této oblasti mají roboty ABB vysokou škálu využití. Hlavním důvodem použití robota IRB 140 v této technologii je efektivita výroby, tj. vysoká kvalita dílů za krátkou dobu cyklu. Lze jej použít téměř ve všech odvětvích průmyslu. Jedno z mnoha možných pracovišť je uvedeno na obrázku 6. Jedná se o pracoviště pro montáž hlavy motoru. Montážní kabina je rozšířena o jeden stupeň volnosti v podobě konzoly, na kterou se může umístit robot. Dopravníky zajišťují přísun jednotlivých komponentů montáže.



Obr. 6 - Montážní linka

Řezání

Díky šesti osám je tento robot ideální pro řezání složitých tvarů. Jsou schopny řezat laserem, vodním paprskem, ultrazvukem i klasickým mechanickým zařízením. Jde - li o konečné úpravy, tak jsou schopny roboty pracovat s opakovatelnou přesností, která je nutná pro stálou kvalitu dílů.

Tlakové lití

Automatizace roboty v tomto oboru efektivně odstraňují jakékoliv nevýhody a zajišťují vysokou produktivitu a flexibilitu.

V tomto odvětví průmyslu se kladou vyšší požadavky na těsnost a kvalitu povrchu robotu. Proto se zde používají roboty kompletně utěsněné s velmi odolným dvousložkovým smaltovým povrchem. Díky tomu jsou schopny odolávat různým vnějším vlivům, zejména jiskrám a žárům. Díky své robustnosti jsou roboty IRB 140 velmi vhodné pro použití v tomto odvětví průmyslu.

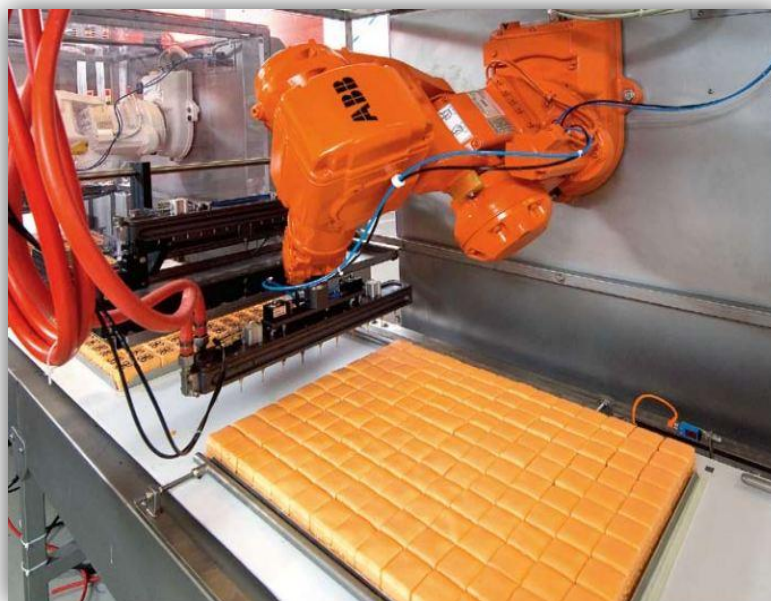
Hlavní aplikace:

- Stříkání
- Vkládání
- Manipulace se slévárenskou pánví
- Odlévání
- Extrakce
- Čištění odlitků (tryskání, ostříhy, řezání, sekání)
- Opracování (broušení, frézování, řezání, vrtání)

Lepení a nanášení hmot

Lepení a dávkování je při manuální činnosti velmi problematické. Roboty mají výborně koordinovaný pohyb a dávkování lepidla, což nám zaručí vysokou přesnost a krátkou dobu cyklu, zejména díky přesnému robotickému lepení (dávkování). V tomto ohledu zajišťuje velmi snadné programování program RobotWare.

O tom, že se roboty dají využít opravdu ve všech odvětvích průmyslu, pojednávají obrázky (*Obr. 7 a Obr. 8*) na následující stránce.



Obr. 7 - Nanášení krému na populární dortíky Petit Fours



Obr. 8 - Dortíky Petit Fours

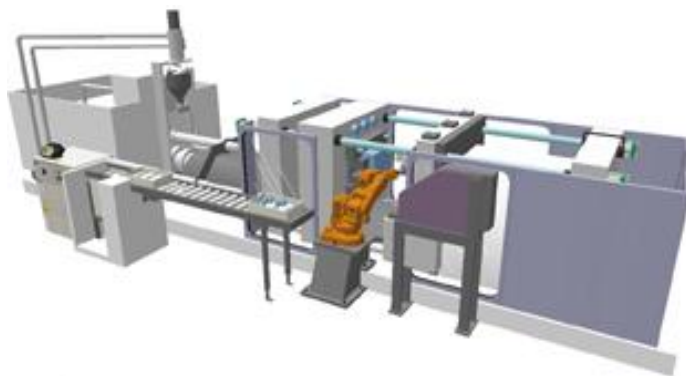
Plastikářské vstřikovací lisy

Roboty ABB se uplatňují v celém spektru vstřikovacích lisů. Od malých až po lisy s velkým výkonem. V tomto odvětví našly roboty všestranné využití, např. vkládání dílů do formy a jejich vyjímání, široký rozsah aplikací je také v konečných úpravách, mezi které patří zejména řezání, lepení, montáž a kontrola kvality. Díky univerzálnosti montáže robotů je zaručena maximální flexibilita a díky vysoké výkonnosti šestiosých robotů se dosahuje optimalizace doby cyklu a nejlepšího spojení flexibility a přesnosti.

Obsluha strojů

Obsluha strojů pomocí průmyslových robotů představuje velmi flexibilní řešení, které umožňuje provádět změny v buňce na základě výrobních požadavků. Vyskytnou-li se v produktu vady, nebo dojde-li k poruše stroje, je jejich odstranění zjednodušeno díky vyloučení chyby lidského faktoru. Na základě automatizace pomocí robotů mohou stroje pracovat mnohem efektivněji i 24 hodin denně.

Robot IRB 140 se hodí např. k obsluze vstřikovacích lisů, CNC frézek a soustruhů, lisů apod.



Obr. 9 - Vkládání obrobku do pracovního stroje

Stříkání a čištění

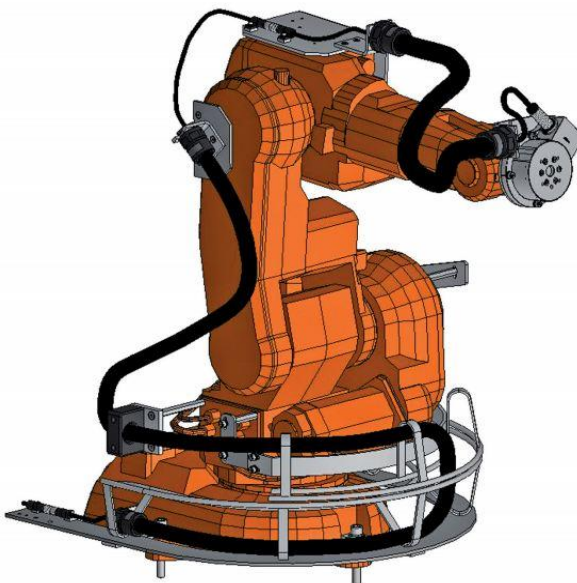
Do této oblasti se řadí převážně lakování a odmašťování (čištění) výrobků. V technologii lakování nemá robot IRB 140 veliké zastoupení z důvodu existence speciálních lakovacích robotů, které pro většinu lakovacích aplikací plně dostačují. K odmašťování a čištění jsou vzhledem ke své flexibilitě vhodné.

Dokončovací procesy

V dnešní době jsou tyto technologie hodně rozšířeny. Roboty umožňující provést dokončovací práce, jakožto odjehlování, broušení a leštění. Lze je použít na obrobky různých materiálů (např. z oceli, nerezové oceli, hliníku, hořčíku, dřeva, plastů, skla atd.). Tato revoluční technologie vede především ke zvýšení produktivity práce, k zlepšení kvality a k snížení nákladů. V současnosti existuje balíček funkcí Force Control, které mají za úkol zjednodušit a zrychlit využívání průmyslových robotů nejen při dokončovacích procesech, ale v celé oblasti obrábění.

Materiál	Typické operace
Ocel	Odstranění sekundárních otřepů po předchozím opracování CNC
Korozivzdorná ocel	Broušení nebo leštění hran či ploch
Hliník, magnezium	Odhrotování po odlévání
Dřevo	Leštění interiérových částí při výrobě automobilů
Plasty	Odhrotování, broušení a leštění
Sklo	Zaoblení ostrých hran

Tab. 4 - Hlavní operace pro různé materiály



Obr. 10 - IRB 140 osazený komponenty funkce řízení Force Control

[9]

1.5 Technologie vhodné pro použití v laboratoři

Jelikož jsme značně omezeni ekologickými a hygienickými vlivy, nelze v laboratoři řadu technologií realizovat. Jedná se především o svařování, lepení a řezání. Každá tato technologie má určitou nevýhodu, která nám nedovoluje ji aplikovat. Jako ideální varianty se jeví montáž a dokončovací práce, protože při těchto aplikacích nedochází ke znatelnému znečištění prostředí a tím porušení hygienických podmínek laboratoře.

2 Návrh jednotlivých pracovišť

V této kapitole budou uvedeny požadavky kladené na pracoviště a návrh tří variant technologického pracoviště se dvěma až třemi roboty IRB 140.

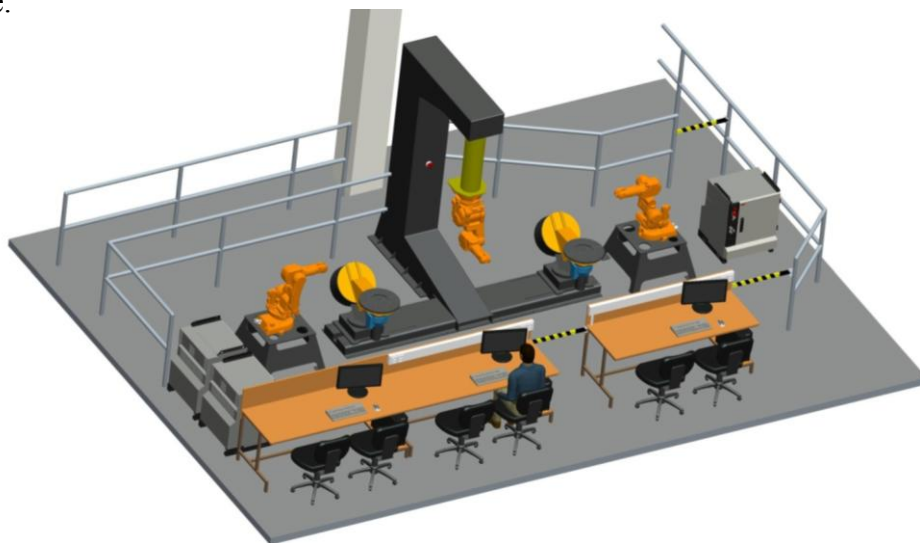
Požadavky na pracoviště

POŽADAVKOVÝ LIST	
Typ pracoviště	Technologické
Počet robotů ABB	2 - 3
Maximální nosnost robotu	6 kg
Dosah robotu	810 mm
Montážní pozice robotu	Podlaha, zavěšení
Energie	Pneumatická, elektrická
Jiné	Zachování konzoly pro zavěšení robotu
	Dodržení hygienických podmínek pracoviště

Tab. 5 - Požadavky na pracoviště

Pracoviště s roboty ABB

Pracoviště se skládá ze tří robotů ABB IRB 140, z řídicích center IRC 5, z konzoly pro zavěšení jednoho robotu, pojezdů pro polohovadla, podstavců pro roboty a ze dvou polohovacích stolů, u nichž se dá v blízké době uvažovat o řízeném polohování horní pracovní desky. Prioritou je zachování nosné konzoly zavěšeného robotu, která je pevně ukotvena k podlaze a je vhodná pro demonstraci univerzálnosti umístění těchto robotů. S roboty umístěnými na podstavcích je možnost manipulace a umístění do libovolné části pracoviště.



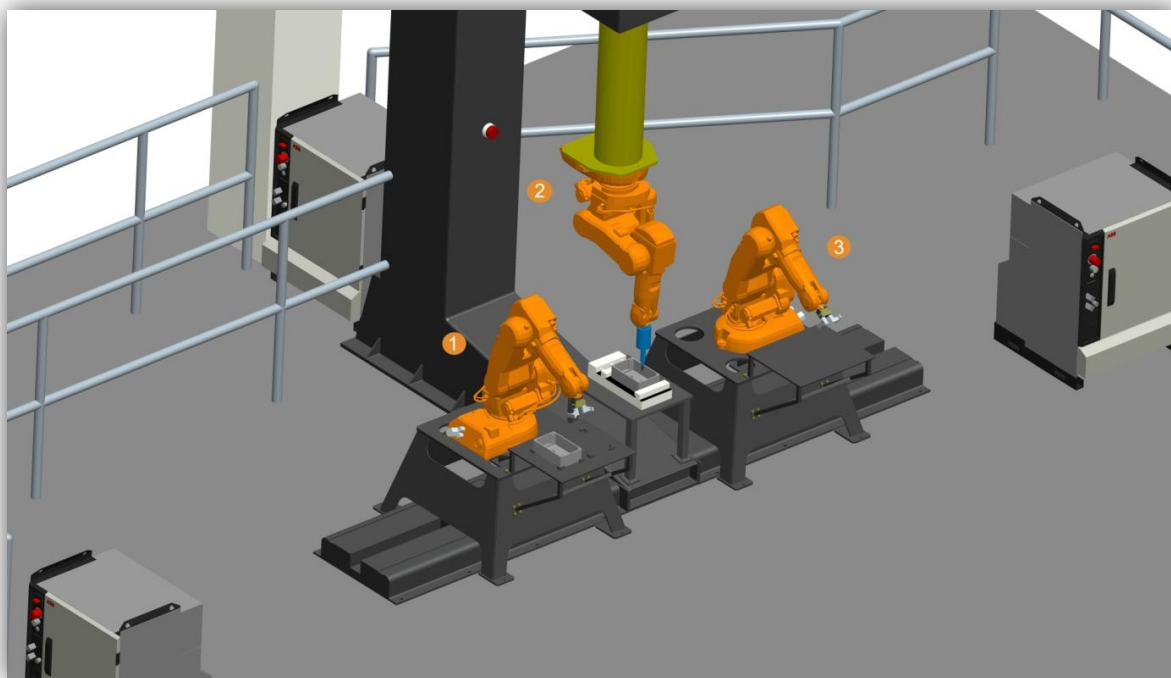
Obr. 11 - 3D model pracoviště ABB

2.1 Varianta 1

Jako první varianta řešení bylo zvoleno odjehlování. Je zde možnost provedení technologického pracoviště ve dvou variantách:

- a) Robot je nositelem technologické hlavy. Obráběný předmět je pevně upnut ve svěráku.
- b) Robot je nositelem obráběného předmětu, kterým manipuluje proti technologické hlavici.

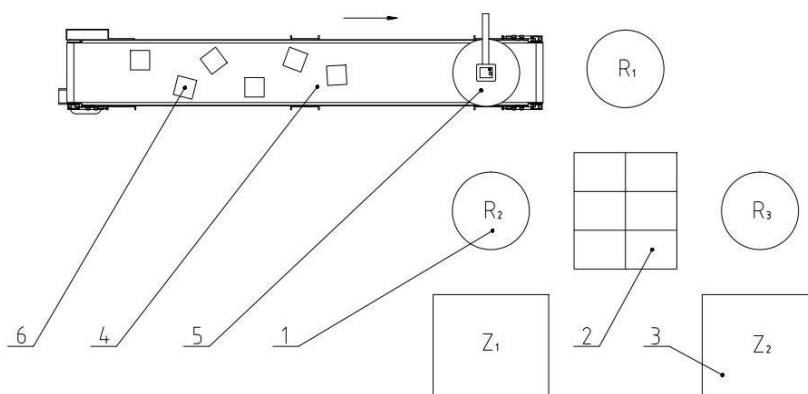
Z těchto dvou možností byla jako vhodnější pracoviště pro laboratorní použití zvolena varianta **a**. Jako energie bude použit stlačený vzduch, který je v laboratoři k dispozici. K činnosti na tomto pracovišti budou aplikovány tři roboty IRB 140, kdy první robot (*číslo 1 na obr. 12*) vloží objekt manipulace do svěráku, druhý bude provádět samostatnou technologickou operaci a třetí OM vyjme a odloží jej na připravenou odkládací plochu, případně do palety. V praxi se z důvodu nižší nosnosti doporučuje použít u tohoto typu robotu k obrábění předmětu z plastu nebo hliníku. Jsou to měkčí materiály, takže nebude docházet k velkým namáháním. V tomto případě byl zvolen hliník z důvodu lehké obrobitelnosti a nevýhody v podobě tavení u plastových materiálů.



Obr. 12 - 3D model pracoviště varianty 1

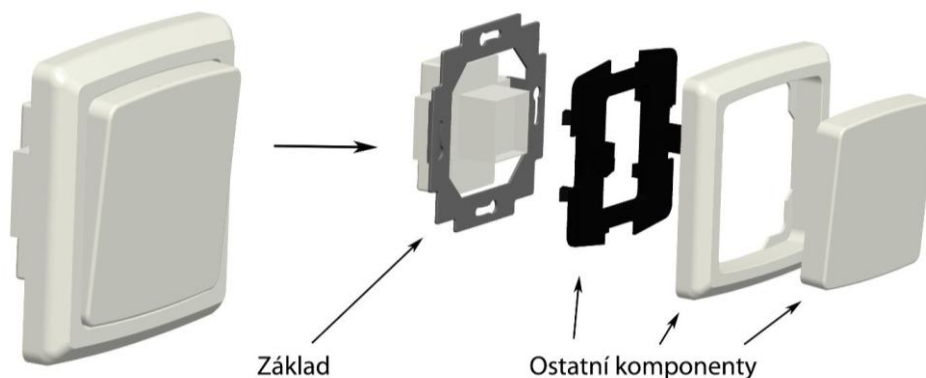
2.2 Varianta 2

- 1 Roboty IRB 140
- 2 Montážní přípravek
- 3 Zásobníky částí
- 4 Pásový dopravník
- 5 Kamerový systém s osvětlením
- 6 Díly vypínače



Obr. 13 - Schéma pracoviště

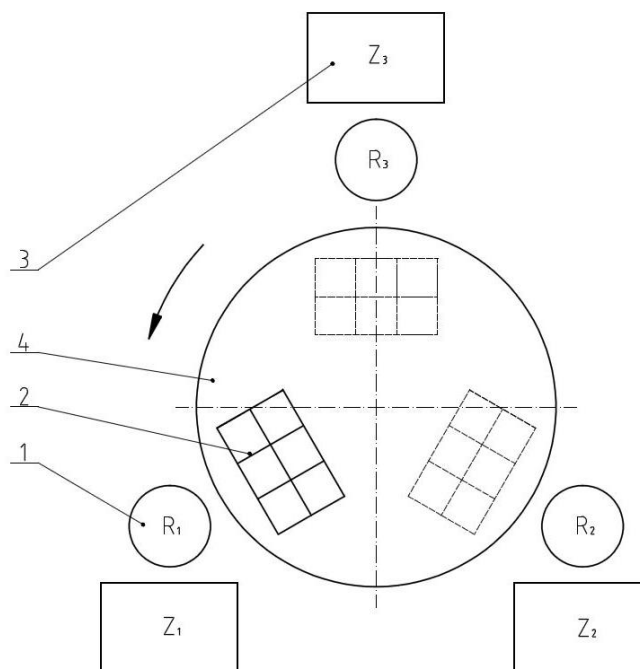
Jako druhá varianta řešení byla zvolena montáž. Z důvodu přehlednosti bylo k této variantě vypracováno jednoduché schéma. Tato technologie má výraznější zastoupení v praxi než odjehlování, a proto byly navrženy dvě různé varianty řešení. Jako montovaný celek byl zvolen klasický vypínač světla (Obr. 14.), skládající se ze čtyř dílů. Z důvodu rychlosti a flexibility robotů je vhodné navrhnout pracoviště, kde se bude provádět montáž 6 - 8 celků, což je z hlediska dosahu robotu dostačující. Základní díl je ručně umístěn v montážním přípravku (pozice 2). Jelikož se jedná o laboratorní úlohu, můžeme druhé díly montovaných celků libovolně umístit na pásový dopravník (pozice 4), krokující například po 150 mm. Kamera s osvětlením (pozice 5), umístěná nad pásovým dopravníkem, snímá polohu předmětu (pozice 6), což nám zaručí umístění předmětu robotem **R₁** do dané montážní pozice. Roboty **R₂** a **R₃** postupným přidáváním dílů, odebíraných ze zásobníků **Z₁** a **Z₂**, k základu, montáž výrobku dokončí. Tímto je aplikace u konce. Pokud by toto pracoviště bylo aplikováno ve výrobě, byly by zde další možnosti automatizace. 3D model tohoto pracoviště je uveden na stránce 26 (Obr. 16).



Obr. 14 - 3D model vypínače

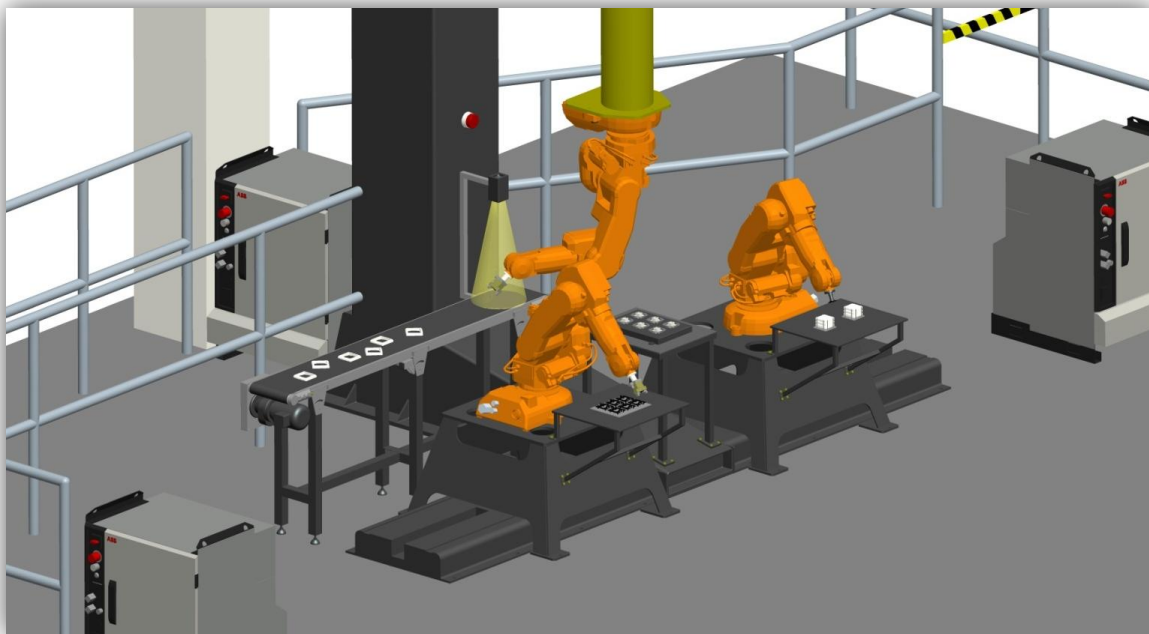
2.3 Varianta 3

- 1 Roboty IRB 140
- 2 Montážní přípravek
- 3 Zásobníky částí
- 4 Polohovací otočný stůl

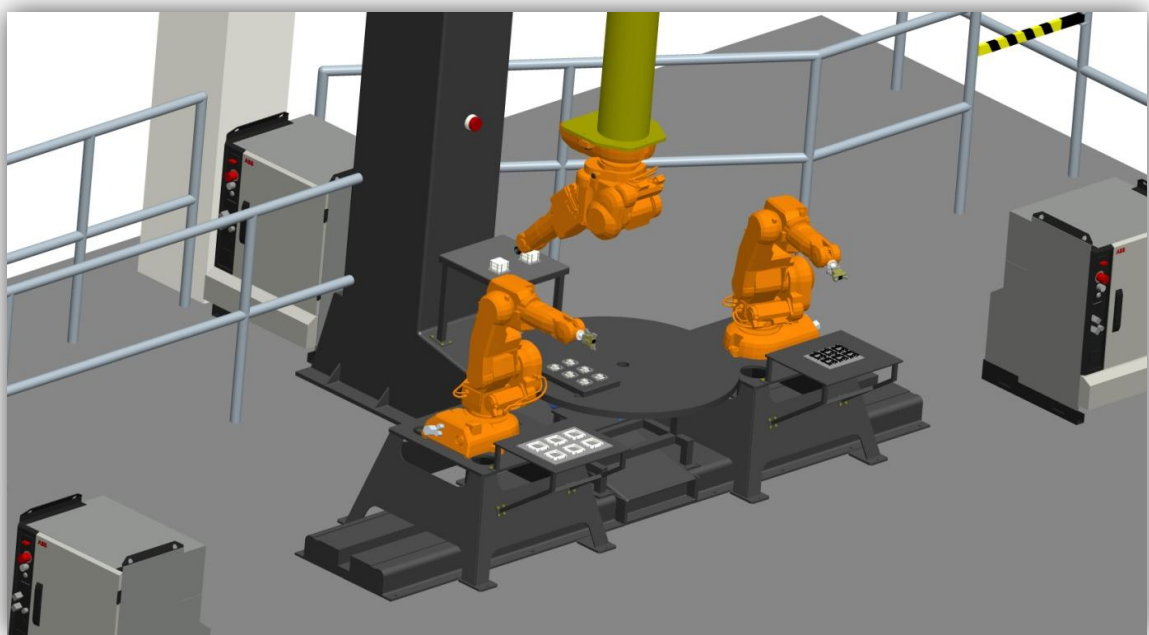


Obr. 15 - Schéma pracoviště

Dalším řešením je již zmíněná druhá varianta montáže. Opět je z důvodu dosahu robotu myšleno pracoviště s maximálním počtem montovaných celků 6 - 8. Montovaným dílem je opět vypínač o čtyřech dílech (Obr. 14), jehož základ je ručně umístěn do montážního přípravku (pozice 2). Ostatní díly jsou umístěny pomocí přípravků v definovaných pozicích v zásobnících Z_1 , Z_2 a Z_3 , kdy robot R_1 vloží první součásti na základní díl a poté se pracoviště pootočí k druhé montážní pozici. Postupně se přidají všechny zbývající díly montovaného celku. V této variantě by byl použit polohovací stůl s třípolohovým indexérem s motorem, reduktorem a řízením. Model tohoto pracoviště je uveden na následující stránce (Obr. 17).



Obr. 16 - 3D model pracoviště varianty 2



Obr. 17 - 3D model pracoviště varianty 3

3 Výběr optimální varianty

V této kapitole byla dle hodnotové analýzy vybrána nejvhodnější varianta

3.1 Hodnoty kritérií

Hodnoty kritérií jsou klíčovou zásadou pro aplikaci hodnotové analýzy. Byla zvolena následující stupnice hodnocení:

ÚROVEŇ KRITÉRIA	BODY
Vysoká	6
Dobrá	5
Průměrná	4
Nízká	3
Nevyhovující	2
Nepříznivý stav	1

Tab. 6 - Bodová stupnice hodnocení

3.2 Významnost kritérií

VÝZNAMNOST KRITÉRIÍ	
Nejvyšší	2
Nejnižší	1

Tab. 7 - Významnost kritérií

3.3 Hodnoticí kritéria

OZNAČENÍ KRITÉRIA	KRITÉRIUM	CHARAKTERISTIKA KRITÉRIA	VARIANTY ŘEŠENÍ		
			1	2	3
K1	Náklady	Veškeré pořizovací náklady na pracoviště (efektory, periferie, nové konstrukce)	3	3	2
K2	Realizace	Složitost pracoviště	5	4	3
K3	Energetická náročnost	Energetická náročnost použitých periférií (dopravník, otočný stůl, světlák)	4	4	4
K4	Programování	Náročnost na programování	5	2	3
K5	Konstrukce	Zachování původních konstrukcí (konzola, podstavce, polohovadla) + počet nových konstrukcí	5	5	4
K6	Kolize	Možnost kolize mezi roboty	4	4	4

Tab. 8 - Zhodnocení kritérií jednotlivých variant

3.4 Určení významnosti metodou trojúhelníku párů

POROVNÁVANÉ PÁRY KRITÉRIÍ					POČET VOLEB v	POŘADÍ
K1	K1	K1	K1	K1	4,5	1. - 2.
K2	K3	K4	K5	K6		
	K2	K2	K2	K2	2	3
	K3	K4	K5	K6		
		K3	K3	K3	1,5	4. - 5.
		K4	K5	K6		
			K4	K4	1	6
			K5	K6		
				K5	4,5	1. - 2.
				K6	1,5	4. - 5.
VYPRACOVAL: David Hanzlík						

Tab. 9 - Metoda trojúhelníku párů vypracovaná prvním znalcem

POROVNÁVANÉ PÁRY KRITÉRIÍ					POČET VOLEB v	POŘADÍ
K1 K2	K1	K1	K1	K1	4,5	1.
	K3	K4	K5	K6		
	K2	K2	K2	K2	4	2.
	K3	K4	K5	K6		
		K3	K3	K3	0,5	6.
		K4	K5	K6		
			K4	K4	1,5	4. - 5.
			K5	K6		
				K5	3	3.
				K6	1,5	4. - 5.
VYPRACOVAL: Tomáš Bartek						

Tab. 10 - Metoda trojúhelníku párů vypracovaná druhým znalcem

POROVNÁVANÉ PÁRY KRITÉRIÍ					POČET VOLEB v	POŘADÍ
K1	K1	K1	K1	K1	5	1
K2	K3	K4	K5	K6		
	K2	K2	K2	K2	3,5	2. - 3.
	K3	K4	K5	K6		
		K3	K3	K3	2	4
		K4	K5	K6		
			K4	K4	0	6
			K5	K6		
				K5	3,5	2. - 3.
				K6	1	5
VYPRACOVAL: Ing. Václav Krys						

Tab. 11 - Metoda trojúhelníku párů vypracovaná třetím znalcem

3.5 Určení váhy významnosti

KRITÉRIUM	VÁHA VÝZNAMNOSTI q
K1	4,667
K2	3,167
K3	1,333
K4	0,833
K5	3,667
K6	1,333

Tab. 12 - Váha významnosti

Váha významnosti q byla určena podle následujícího vzorce:

$$q = \frac{\Sigma(v_1)_i}{p} = \frac{14}{3} = 4,667 \quad (3.1)$$

$(v_1)_i$ - součet počtů voleb K1 jednotlivými znalci

p - počet znalců

Příklad je určen pro případ **K1**. Řešení pro následující koeficienty se počítají obdobně.

3.6 Hodnocení jednotlivých variant

VARIANTA 1			
KRITÉRIUM	HODNOTA	VÁHA VÝZNAMNOSTI q	VÁŽENÝ INDEX KRITÉRIA
K1	3	4,667	14,001
K2	5	3,167	15,835
K3	4	1,333	5,332
K4	5	0,833	4,165
K5	5	3,667	18,335
K6	4	1,333	5,332
Celkový součet indexů varianty 1			63

Tab. 13 - Zhodnocení varianty 1

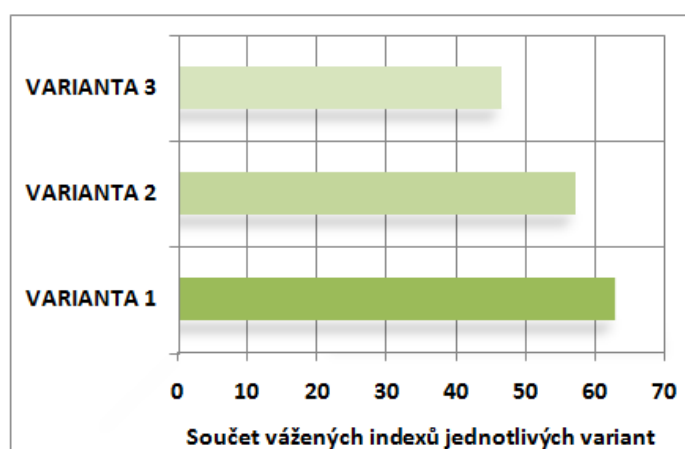
VARIANTA 2			
KRITÉRIUM	HODNOTA	VÁHA VÝZNAMNOSTI q	VÁŽENÝ INDEX KRITÉRIA
K1	3	4,667	14,001
K2	4	3,167	12,668
K3	4	1,333	5,332
K4	2	0,833	1,666
K5	5	3,667	18,335
K6	4	1,333	5,332
Celkový součet indexů varianty 2			57,334

Tab. 14 - Zhodnocení varianty 2

VARIANTA 3			
KRITÉRIUM	HODNOTA	VÁHA VÝZNAMNOSTI q	VÁŽENÝ INDEX KRITÉRIA
K1	2	4,667	9,334
K2	3	3,167	9,501
K3	4	1,333	5,332
K4	3	0,833	2,499
K5	4	3,667	14,668
K6	4	1,333	5,332
Celkový součet indexů varianty 3			46,666

Tab. 15 - Zhodnocení varianty 3

3.7 Vyhodnocení a určení ideální varianty



Graf. 2 - Graf významnosti variant

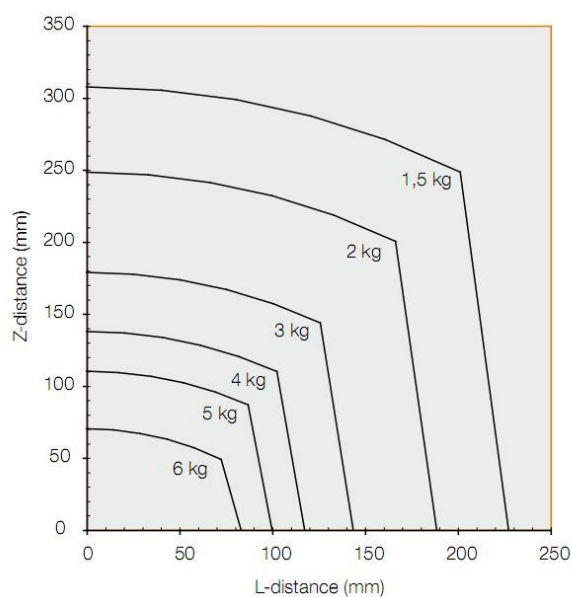
Na základě součtů vážených indexů byl vypracován graf, z kterého je zřejmé, že nejvhodnější aplikací bude varianta 1 - odhrotování.

4 Vypracování optimální varianty

V této kapitole bude detailně popsána optimální varianta. V úvodu byl vhodně zvolen objekt manipulace, navržen efektor, vybrána technologická hlavice, nástroj a poté byly navrženy dvě alternativní konstrukce svěráků, z kterých se zvolila optimální varianta. Následně byla tato varianta svěráku podrobněji popsána. V konečné fázi byly navrženy ostatní potřebné konstrukce nutné k realizaci pracoviště a provedena časová a cenová studie.

4.1 Volba objektu manipulace (dále v textu pod zkratkou OM)

Jako OM byl zvolen hliníkový odlitek krabice (*Obr. 19*). Hmotnost objektu manipulace a efektoru musí odpovídat dané nosnosti robotu a zároveň nesmí přesáhnout hodnoty zátěžového diagramu s ohledem na vyložení OM od osy interface. Toto tvrzení bude dále v textu ověřeno. Na obrázku 18 je uvedeno schéma této problematiky.

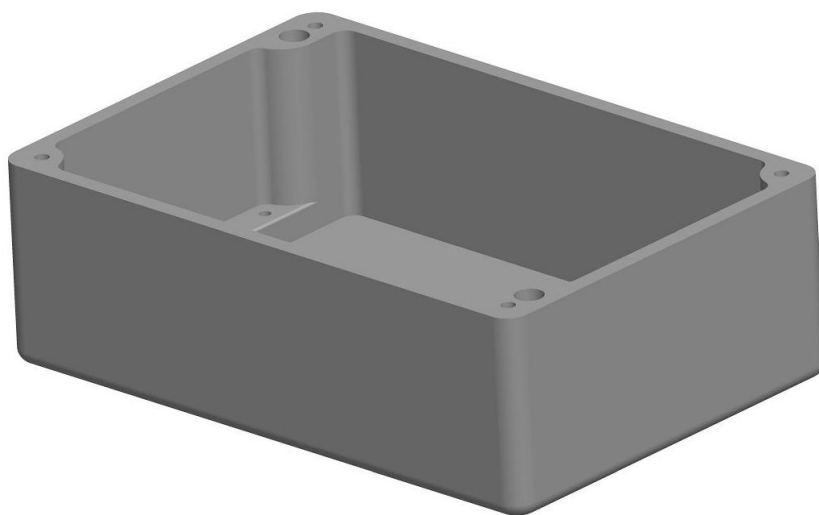


Obr. 18 - Diagram zátížení

Parametry objektu manipulace

Materiál	Hliník
Hmotnost	1,4 kg
Délka	220 mm
Šířka	150 mm
Výška	65 mm

Tab. 16 - Parametry objektu manipulace



Obr. 19 - Objekt manipulace

4.2 Návrh efektoru

Výchozím parametrem pro volbu efektoru je určení úchopové síly. Při tomto výpočtu se vycházelo zejména z OM.

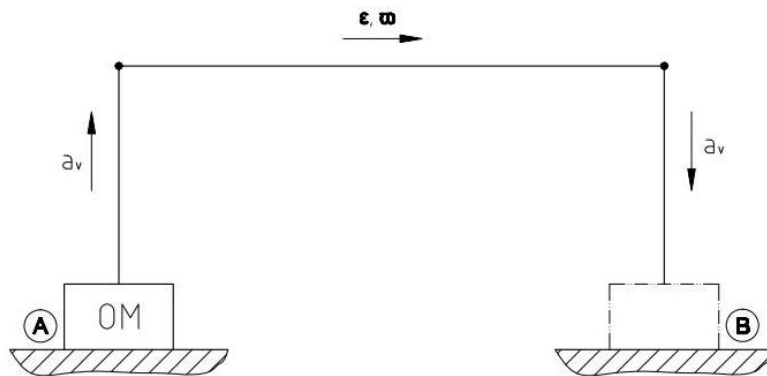
NÁZEV	ZNAČKA	HODNOTA
Hmotnost OM	m	1,4 kg
Gravitační zrychlení	g	$9,81 \text{ ms}^{-2}$
Koeficient tření mezi čelistmi a OM (pryž - hliník) [19]	f	0,5
Zrychlení koncového bodu robotu	a_v	10 ms^{-2}
Koeficient bezpečnosti [25]	k	2,5

Tab. 17 - Vstupní parametry potřebné k výpočtu

4.2.1 Stanovení úchopové síly

V tomto kroku bude vyřešeno nejnepříznivější zatížení OM, které se při manipulaci robotu s efektozem a OM může vyskytnout. Toto zatížení je zřejmé z následujícího schématu (Obr. 20). Byla navržena jednoduchá trajektorie, kdy robot vyjme OM z počáteční pozice kolmo vzhůru, poté se otočí kolem své osy do pozice nad svěrák a následně vloží OM do svěráku opět kolmo dolů. Z trajektorie pracovního cyklu je zřejmé, že největší síla působící na OM bude při vertikálním pohybu. Pro tento pohyb byla tedy vypočtena úchopová síla.

Výpočet úchopové síly



Obr. 20 - Zjednodušené schéma trajektorie OM

- Síla působící při vertikálním pohybu se zrychlením ramene a_v

$$F = m \cdot (g + a_v) = 1,4 \cdot (9,81 + 10) = 27,73 \text{ N} \quad (4.1)$$

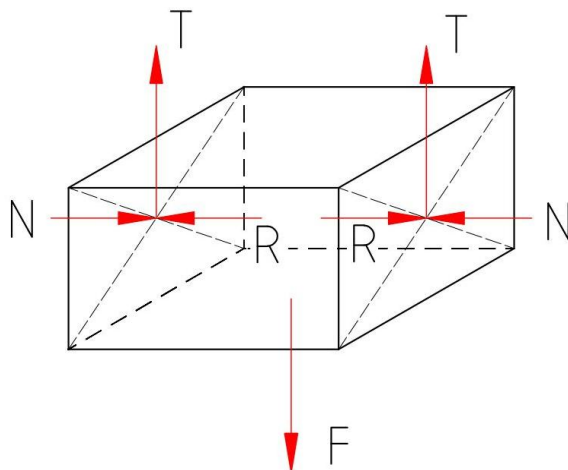
- Dle schématu zatížení OM (Obr. 21) lze odvodit výsledná výpočtová úchopová síla

silový rozbor:

$$N = R \quad (4.2)$$

$$F = T$$

$$T = R \cdot f \Rightarrow R = \frac{T}{f} \quad (4.3)$$



Obr. 21 - Schéma zatížení OM

- výpočtová úchopová síla

$$U_{výp} = \frac{k}{f} \cdot F = \frac{2,5}{0,5} \cdot 27,73 = 138,65 \text{ N} \quad (4.4)$$

Výpočtová úchopová síla musí mít určitou rezervu, zapříčiněnou nejistotou stanovení součinitele tření f a velikosti sil, které působí při pohybu robotu. Proto je tato síla ošetřena koeficientem bezpečnosti k .

k - určena dle [25]

f - určen dle [19]

Kontrola výpočtu úchopové síly

Kontrola předchozího návrhu úchopové síly byla provedena pomocí programu SSG 1702 společnosti SCHUNK, kdy bylo snahou výpočtem minimalizovat rozměry a hmotnost efektoru. V tomto programu byl upřesněn tvar obrobku, vzhledem k návrhu efektoru, a další potřebné hodnoty. Konkrétní parametry návrhu jsou uvedeny v příloze C, zde budou prezentovány pouze výsledky. Hodnoty ručního výpočtu a výpočtu programem SSG se liší minimálně, z čehož lze konstatovat, že výpočet byl proveden správně.

Typ chapadla	JGP 64 - 1
Druh chapadla	Dvou čelistové (paralelní úchopové prvky)
Minimální celková úchopová síla chapadla bez bezpečnosti	55,468 N
Minimální celková úchopová síla chapadla s bezpečností	138,67 N
Úchopová síla chapadla při pracovním tlaku 0,6 MPa	270 N

Tab. 18 - Výsledné hodnoty programu SSG 1702

[11]

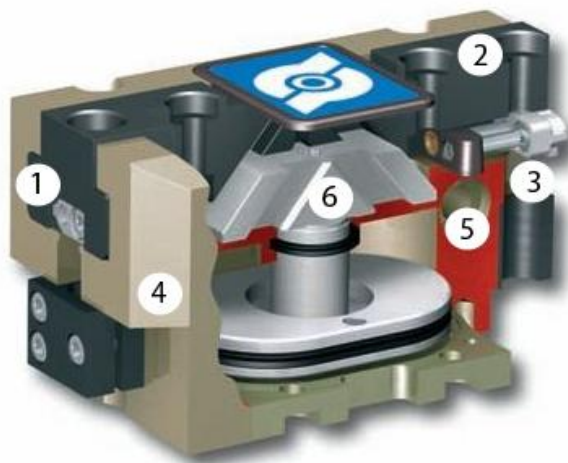
4.2.2 Volba efektoru

Na základě výpočtu programem SSG 1702 byl navržen univerzální úchopový modul JGP 64 - 1 (Obr. 22) společnosti SCHUNK. Z důvodu minimalizace rozměrů úchopových prvků a hmotnosti byly jako úchopové plochy vybrány vnitřní stěny OM.

Zdvih na čelist	6 mm
Maximální upínací síla	270 N
Hmotnost modulu	0,28 kg
Minimální Nominální Maximální provozní tlak	2,5 6 8 bar
Maximální dovolená hmotnost úchopových prvků	0,35 kg
Přesnost	0,01 mm

Tab. 19 - Základní parametry efektoru

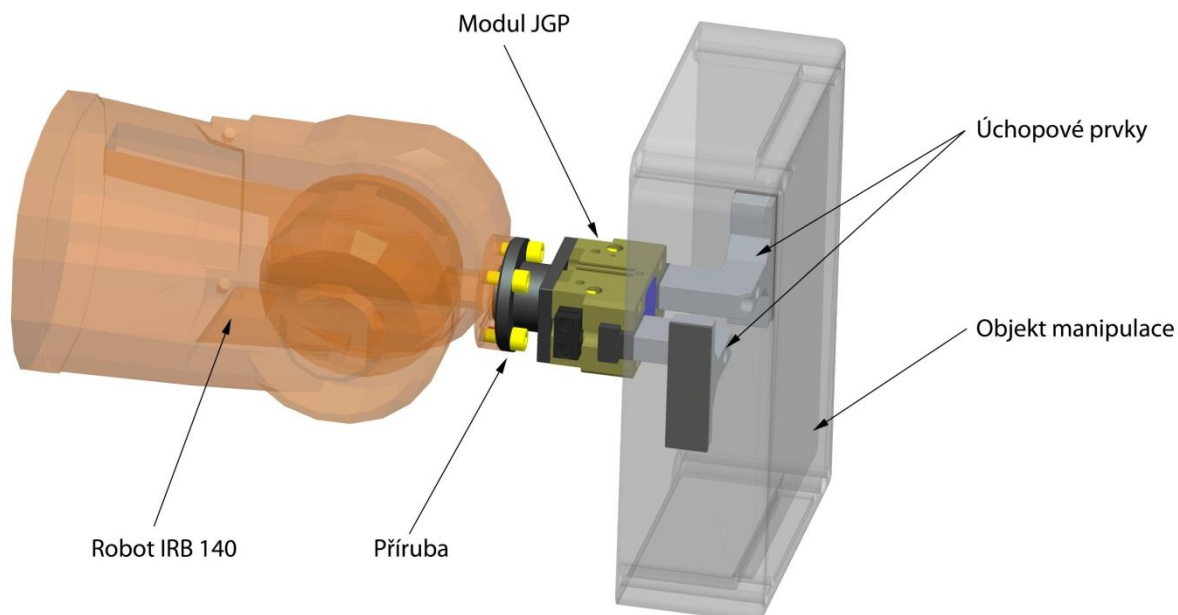
- 1 Vedení s T - drážkami
- 2 Základní čelisti
- 3 Senzory
- 4 Těleso chapadla (pouzdro)
- 5 Středící a montážní prvky
- 6 Kinematika



Obr. 22 - Uchopovací modul JGP 64 - 1

[11], [23]

K tomuto modulu byla dále přidána příruba, pro uchycení efektoru k interfejsu robotu a úchopové prvky. Tento návrh byl vypracován pouze orientačně, protože to nebylo součástí řešení bakalářské práce. V konečném řešení by tedy mohl mít efektor následující podobu:



Obr. 23 - Aplikace efektoru

Těžiště OM je od koncového bodu robotu ve vzdálenosti 100 mm. Dle schématu (Obr. 18) ze stránky 32 lze konstatovat, že robot, respektive zápěstí robotu, nebude přetěžováno.

4.3 Návrh technologické hlavice

Hlavice

Velikost odhroťovacích hlavic se volí podle potřebného výkonu, případně podle dalších parametrů. Nejčastěji se vhodná velikost určuje praktickými zkouškami, protože odhroťování není přesně definovaný proces. Je možné tedy odhadnout, že pro hliník není potřeba velký výkon a tedy je možné zvolit menší velikost technologické hlavice. Na základě této úvahy a konzultací byla zvolena hlavice typu FBD 300 společnosti SCHUNK.

- 1 Pneumatické vřeteno
- 2 Válcový kroužek
- 3 Nosný bod
- 4 Přípojka pneumatiky (pro ovládání kroužku)
- 5 Přípojka pneumatiky



Obr. 24 - Technologická hlavice FBD 300

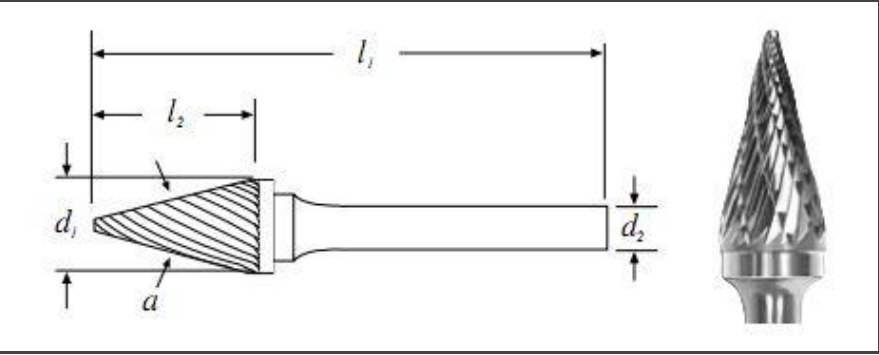
Tato pneumatická hlavice má dvojí využití. Může se připojit na koncový člen robotu nebo jako pevně instalovaný prvek, kde by bylo proti němu manipulováno objektem manipulace. Síla působící na obrobek je regulována v závislosti na tlaku.

Typ	FBD 300
Hmotnost	1,15 kg
Otáčky bez zátěže	30 000 ot · min ⁻¹
Minimální síla působící na obrobek	6,7 N
Maximální síla působící na obrobek v ose x	42,3 N
Maximální síla působící na obrobek v ose y	42,3 N
Minimální pracovní tlak	0,03 MPa
Maximální pracovní tlak	0,41 MPa
Maximální délka technologické hlavice	226,6 mm

Tab. 20 - Základní parametry technologické hlavice

Nástroj

Jako nástroj byla zvolena technická kuželová fréza SM - 5M společnosti HB technik. Fréza má znamenitý výbrus a je velmi vhodná pro měkké materiály. Vytváří kvalitní povrch, malé špony a má vynikající samokontrolu při obrábění.

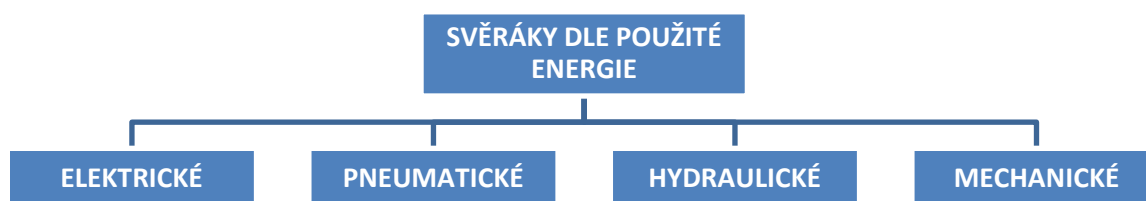
ϕd_1	12,7	
ϕd_2	6	
l_1	69	
l_2	22	
α	28°	

Tab. 21 - Základní parametry frézy

[14]

4.4 Analýza svěráků

V tomto bodě bude uvedena krátká rešerše svěráků, vhodných pro danou aplikaci. Tato rešerše bude provedena z důvodu nalezení vhodných trendů a komponentů pro návrh svěráků. Dále budou vypracovány optimální varianty řešení a na základě porovnání vybrána optimální konstrukce.



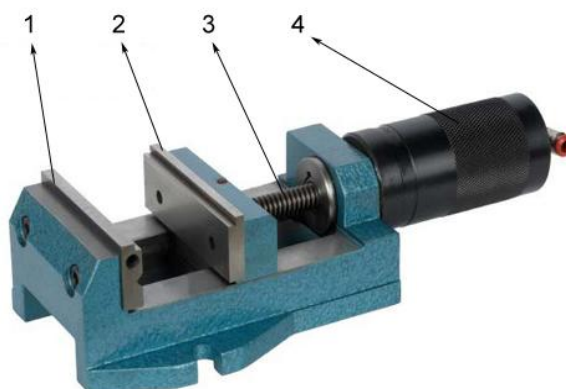
Obr. 25 - Základní rozdělení svěráků podle použité energie

Jelikož je v tomto případě myšleno automatizované upínání obrobku, tak je vyloučena možnost mechanického upnutí. Dále v laboratoři není dostupná hydraulická energie, takže přišlo v úvahu využití pneumatické nebo elektrické energie. Tyto dvě technologie budou následně krátce rozebrány a uvedeny moderní trendy jejich použití při upínacích operacích.

4.4.1 Pneumatické svěráky

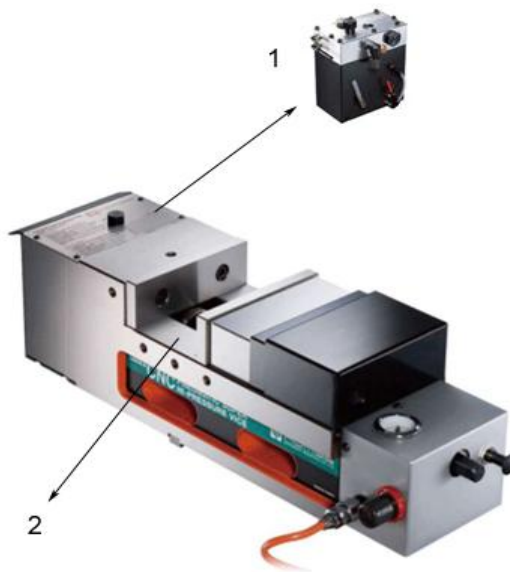
Mezi nejjednodušší zařízení se v této kategorii řadí příruční pneumatické svěráky, známé společností YORK (*Obr. 26*). Svěrákem tohoto typu lze předměty upínat mechanicky nebo pneumaticky. Jelikož je zde použitý pneumatický pohon s menším zdvihem, je nutné, aby před použitím pneumatické energie byla čelist mechanicky posunuta k předmětu, kdy maximální vůle mezi čelistí a obrobkem nesmí přesáhnout 4 mm. Princip pneumatického upnutí spočívá v tom, že pneumatický píst pod tlakem upíná. Při odlehčení pístu se o odepnutí předmětu starají vratné pružiny. Maximální pracovní tlak vzduchu je 0,8 MPa kdy velikost upínací síly je nastavitelná pomocí regulace tlaku vzduchu. [12]

- 1 Základna s pevnou čelistí
- 2 Pohyblivá čelist
- 3 Vřeteno
- 4 Pneumatická jednotka



Obr. 26 - Pneumatický svěrák YORK MBV

V současnosti se mezi nejmodernější pneumatické svěráky řadí svěrák firmy HOMGE (*Obr. 27*), který pracuje s novým patentovaným systémem (*pozice 1*), který je navržen pro maximální úchopovou sílu 90 000 N, která může být upravena v závislosti na materiálu upínaného předmětu nebo technologii jeho obrábění. Díky této výhodě je tento svěrák vhodný pro nejrůznější technologie a pružné výrobní linky. Tělo svěráku je vyrobeno z kvalitní tvárné litiny. Vedení (*pozice 2*) je kaleno, což vede ke zvýšení jeho životnosti. Svěrák lze připevnit ve vodorovné nebo svislé poloze. [13]



Obr. 27 - Pneumatický svěrák fy. HOMGE

Jelikož u mnoha aplikací není zapotřebí univerzálnosti, přichází v úvahu řešení v podobě kompaktních pneumatických pohonů či jednotlivých dílů. Je zde možnost volby různých upínacích sil nebo různých pracovních zdvihů. Kompaktními válci s vedením se zabývá např. firma SMC, kdy je pneumatický motor umístěn mezi dvěma vodícími tyčemi. Touto konstrukcí válec bezpečně zachytí příčné zatížení a momenty. Tyto celky také disponují nastavitelným tlumením koncových poloh a snímači koncových poloh zapuštěnými do obrysu. Nastavitelné tlumení koncových poloh je zajištěno škrtícím ventilem integrovaným v těle válce.



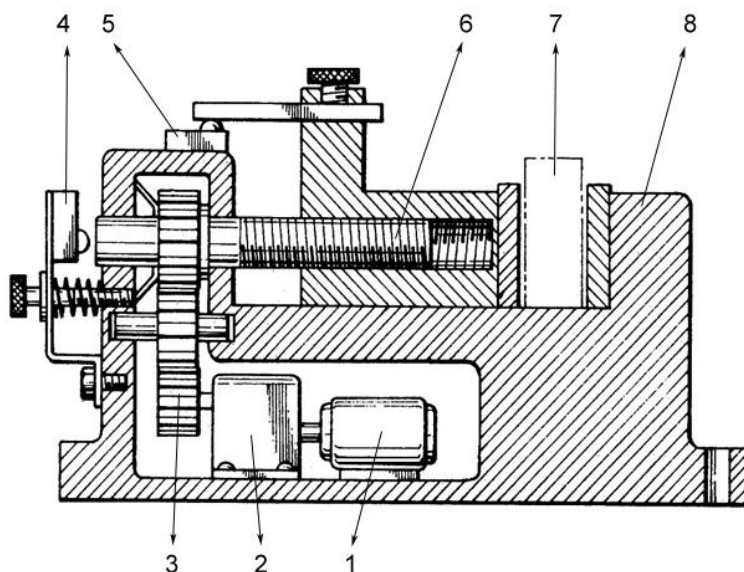
Obr. 28 - Kompaktní válce s vedením

[10]

4.4.2 Elektrické svěráky

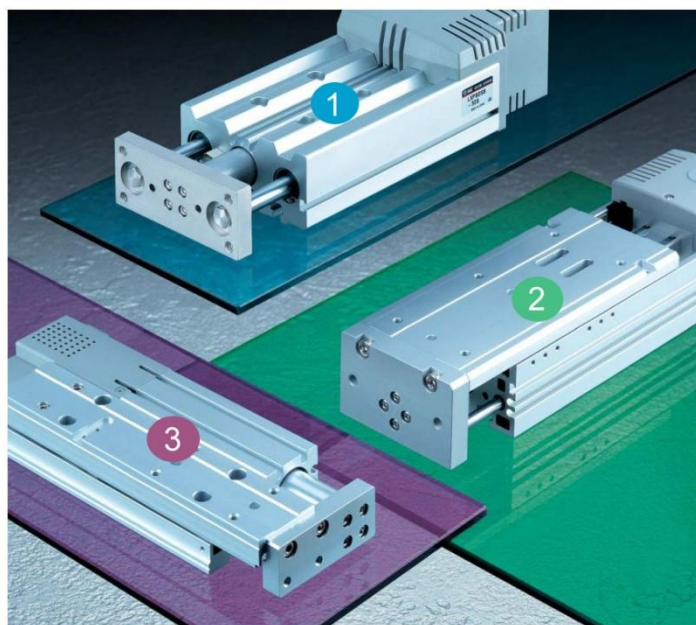
Elektrické svěráky představují možné řešení z důvodu rotačního výstupu v kombinaci s kuličkovým šroubem. Jsou zde různé varianty řešení. Jedno z možných je uvedeno ve schématu (*Obr. 29*) na následující stránce. Rotační pohyb z motoru (*pozice 1*) je převeden převodovkou (*pozice 2*) a ozubeným soukolím (*pozice 3*) na šroub (*pozice 6*), jehož otáčením dochází k utažení upínaného předmětu (*pozice 7*). Motor s převodovkou a ozubeným soukolím je umístěn v tělese svěráku (*pozice 8*).

- 1 Motor
- 2 Převodovka
- 3 Ozubené soukolí
- 4 Koncový spínač
- 5 Koncový spínač
- 6 Šroub
- 7 Upínaný předmět
- 8 Tělo svěráku



Obr. 29 - Schéma elektrického svěráku

Podobně jako u pneumatických svěráků je možné i u elektrických uplatnit kompaktní elektrické pohony. Toto řešení je v dnešní době jednodušší. Klasickým představitelem těchto pohonů je rovněž společnost SMC (Obr. 30). Nevýhodou oproti pneumatickým je mnohem vyšší pořizovací cena. Další variantou řešení je použití krokových motorů (Obr. 31). K těmto motorům je na základě požadavků přidáno lineární



vedení, kterým se zabývá nespočet firem, případně je opět možnost uplatnit tyto motory jako kompaktní celky s již zabudovaným lineárním vedením (Obr. 32).

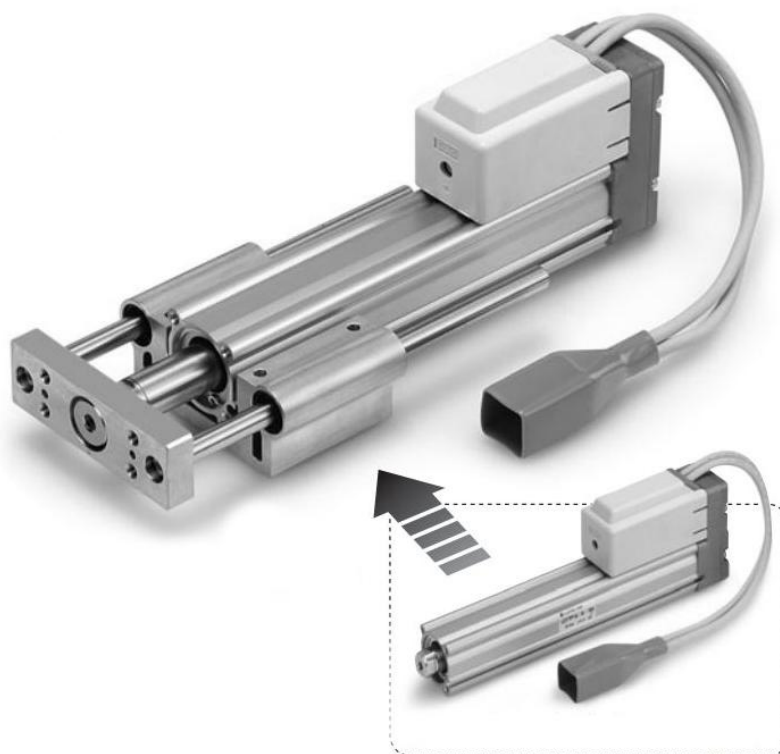
- 1 Typ LXP
- 2 Typ LXS
- 3 Typ LXP

Obr. 30 - Kompaktní elektrické pohony s vedením



Obr. 31 - Krokový motor typu LEY firmy SMC

V současnosti byla představena novinka, která by splňovala parametry pro návrh elektrického svěráku. Jedná se o kompaktní celek elektrického krokového motoru LEY v kombinaci s lineárním vedením (*Obr. 32*).

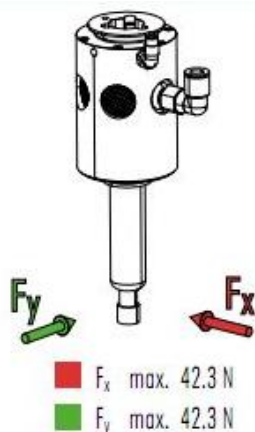


Obr. 32 - Krokový motor LEY v kombinaci s lineárním vedením

4.5 Návrh alternativních variant svěráků

4.5.1 Varianta A

V první variantě byl navržen pneumatický svěrák. Výchozím parametrem při tomto návrhu bylo stanovení upínací síly pneumatického celku. Při návrhu upínací síly se vycházelo z maximální síly technologické hlavice, kterou působí na obrobek (Obr. 33).

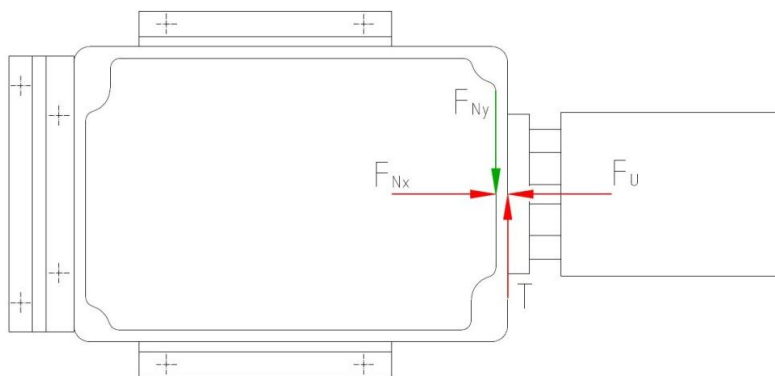


Snahou bylo získat jednoduchou a co nejméně ekonomicky náročnou konstrukci. Z důvodu jednoduchosti byl vybrán kompaktní celek typu MGP společnosti SMC (Obr. 35), který disponuje širokým rozsahem upínacích sil v závislosti na průměru pístu a pracovním tlaku. Následně byl vypracován 3D model svěráku (Obr. 37). V konečné fázi byl tento svěrák porovnán s elektrickým a provedeno vyhodnocení optimální varianty.

Obr. 33 - Působící síly

Návrh upínací síly

Při tomto návrhu se vycházelo ze schématu znázorňujícího silové účinky jak nástroje, tak pneumatického nebo elektrického upínacího mechanismu. Tento návrh je platný pro oba typy svěráků.



Obr. 34 - Schéma silového působení při upínání OM

– rovnováha sil

$$F_{Ny} - T = 0 \quad (4.05)$$

$$F_{Nx} - F_u = 0$$

– třecí síla

$$T = (F_u - F_{Nx}) \cdot f \quad (4.06)$$

– výsledná síla potřebná k upnutí obrobku

$$F_{Ny} - (F_u - F_x) \cdot f = 0 \quad (4.07)$$

$$\Rightarrow F_u = k \cdot \left(\frac{F_{Ny}}{f} + F_{Nx} \right) = 1,5 \cdot \left(\frac{42,3}{0,5} + 42,3 \right) = 190,35 \text{ N}$$

f - koeficient tření mezi pohyblivou čelistí pneumatického upínacího mechanismu a objektem manipulace (pryž - hliník) [19]

k - bezpečnost z důvodu nejistoty stanovení koeficientu tření

Na základě tohoto návrhu byl zvolen vhodný pneumatický pohon v podobě kompaktního celku typu MGP od firmy SMC.

Typ	MGPM
Zdvih	25 mm
Průměr pístu	25 mm
Průměr pístnice	12 mm
Upínací síla	196 N*
Pracovní tlak	0,4 MPa
Ložiska (vedení)	Kluzná ložiska

* upínací síla se mění v závislosti na změně pracovního tlaku

Tab. 22 - Základní parametry pneumatického pohonu s vedením

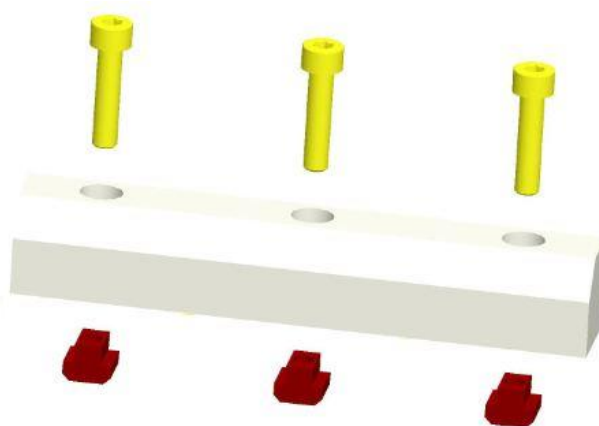


Na obě čelisti svěráku se musí aplikovat podložka z pryže, aby nedošlo k poškození hliníkového obrobku. Svěrák je možné umístit na základ pomocí T - drážek, nebo přišroubovat přímo pomocí šroubů M5, které jsou výrobcem dimenzovány pro maximální sílu pístu při pracovním tlaku až 1 MPa.

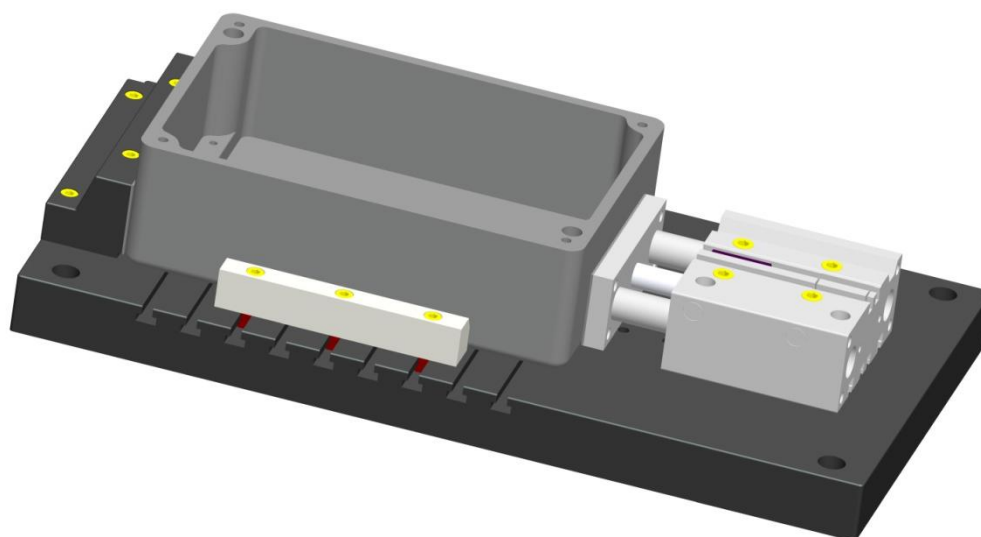
Obr. 35 - Jednotka MGPM

[10], [24]

Svěrák byl navržen tak, aby jeho využití bylo univerzálnější. Jelikož se jedná o válec s koncovým tlumením, plně bude pro tuto operaci dostačovat zdvih 25 mm. Bylo uvažováno, že by mohl v budoucnu sloužit i k jiným aplikacím, případně odhrotování s jiným OM, proto se dá kompaktní celek mechanicky posunout blíže k pevné čelisti, čím se upínací rozsah patřičně mění. Pro zajištění geometrické pozice objektu manipulace byly použity T drážky s T maticemi, ke kterým se přišroubují příložky. Byly zvoleny normalizované T - drážky pro matice se závitem M5, které plně dostačují pro tuto aplikaci. U rozteče drážek nemusel být brán zřetel na její normalizované hodnoty, protože v těchto drážkách budou použity pouze T - matice.



Obr. 36 - Příložka s T - maticemi a šrouby M5



Obr. 37 - Model pneumatického svěráku

4.5.2 Varianta B

V druhé variantě byl navržen elektrický svěrák. Pro tuto tzv. "pushing" operaci, je vhodné zvolit krokový motor. Jako pohon byl tedy zvolen motor typu LEY (*Obr. 38*) společnosti SMC, ke kterému byly přidány vhodné komponenty. V návrhu by mohl být také použit kompaktní celek (*Obr. 32*). Jelikož je tento produkt novinkou, nejsou zatím k dispozici informace potřebné k realizaci tohoto návrhu.



Obr. 38 - Krokový motor série LEY

Typ	LEY
Stoupání	6
Upínací síla	238 N
Maximální rychlost	250 mm · s ⁻¹
Zdvih	50 mm

Tab. 23 - Základní parametry motoru

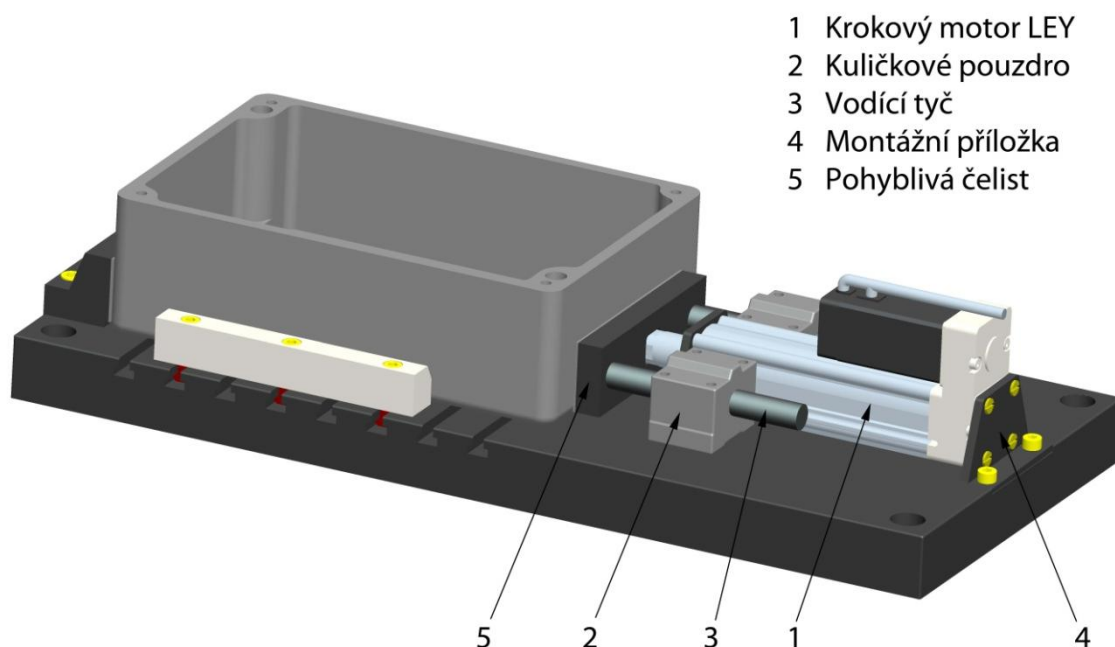
K tomuto motoru byly dále zvoleny vhodné komponenty od firmy T.E.A. - Technik. Konkrétně uzavřený lineární set typu SBUB v podobě hliníkového domečku a kuličkového pouzdra typu UBM, které je v něm nalisováno, a vodících tyčí (*Obr. 39*). Toto provedení je uzavřené a oboustranně utěsněné. Jako vodící prvky byly použity klasické vodící tyče, které jsou pro tyto pouzdra nejčastěji používány.



Obr. 39 - Komponenty pro lineární vedení

[10], [18], [22]

Krokový motor je k základové desce přišroubován pomocí montážních přílohek (pozice 4 na obr. 40). Na obě čelisti svěráku jsou opět aplikovány podložky z pryže.



Obr. 40 - Model elektrického svěráku

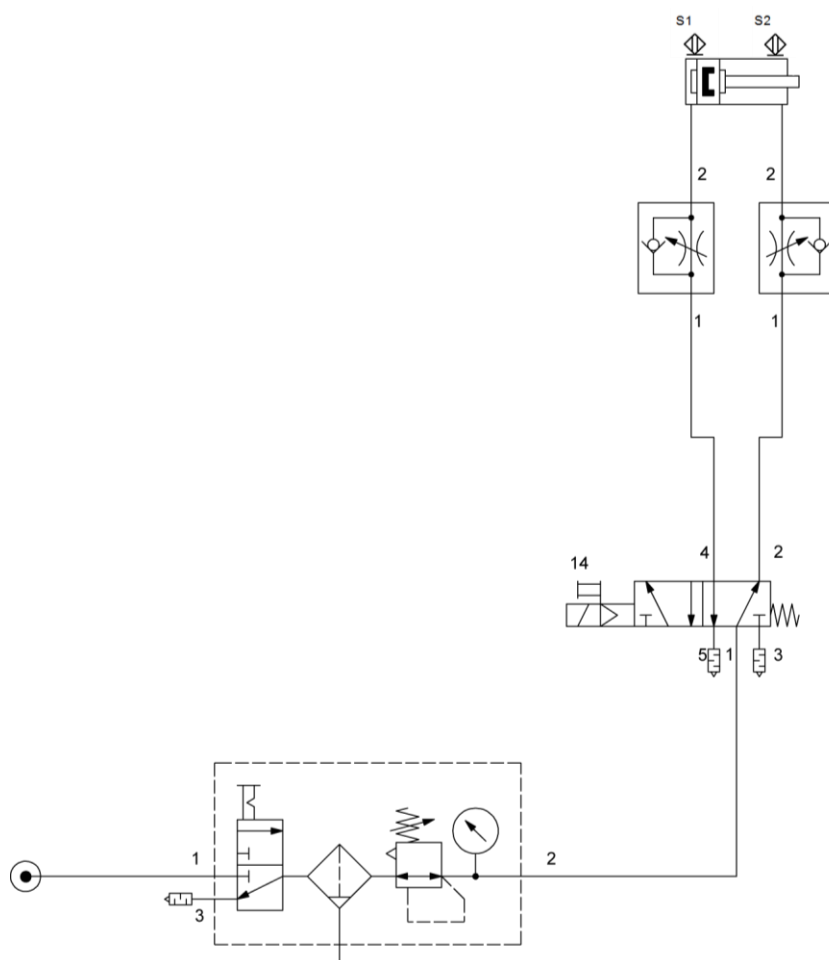
4.6 Volba optimální varianty svěráku

Elektrické pohony LEY budou oproti pneumatickým pohonům MGP znatelně dražší. Pro upínání se musí vždy vyřešit pojištění při výpadku přívodu vzduchu (pokles tlaku) a samozřejmě i elektrické energie. Z této jednoduché úvahy lze usoudit, že vhodnější bude pneumatický pohon MGP, zejména k jeho nižší ceně. Nevýhodou tohoto navrženého pohonu je použití dvojčinného válce z důvodu vyšší spotřeby vzduchu. Výhodou bude nastavitelné tlumení koncových poloh. Tento svěrák bude následně podrobněji rozpracován.

4.7 Pneumatický svěrák

V tomto bodě bude optimální varianta podrobněji popsána, navržen optimální pneumatický obvod, který bude uveden v podobě obvodového schématu a provedeny potřebné kontroly spojovacích součástí. Dále bude vypočtena spotřeba vzduchu a uvedeny zásady při použití pneumatického kompaktního celku.

4.7.1 Obvodové schéma



Obr. 41 - Obvodové schéma zapojení pneumatiky

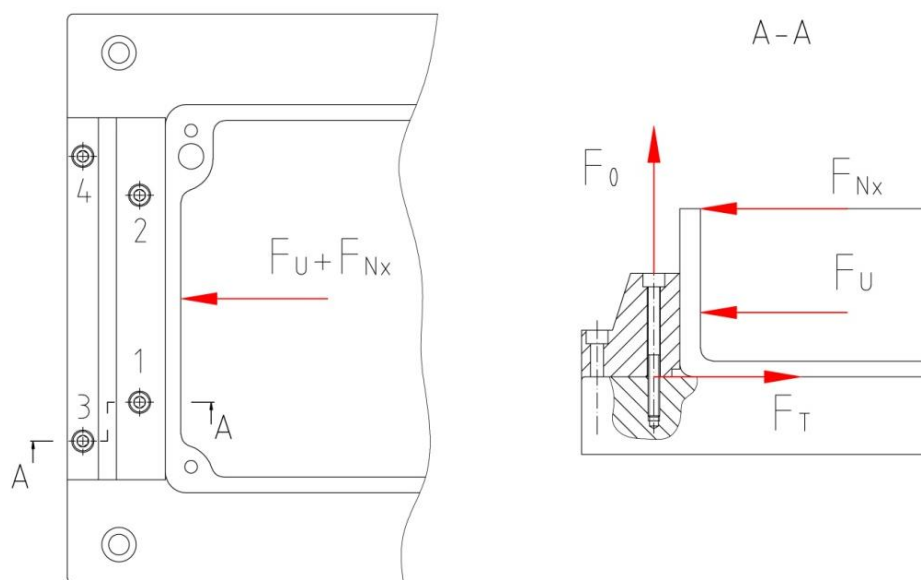
Tento obvod pracuje na jednoduchém principu řízení síly, která je pro tento upínací mechanismus podstatná. Stlačený vzduch je přes úpravu vzduchu přiveden k ventilu, kde je dále přes škrťací ventil veden do válce. Úprava vzduchu se skládá z ručního ventilu, redukčního ventilu s manometrem a filtru s odlučovačem. Ventil je pěticestný, dvoupolohový s pěti přípoji a dvěma polohami. Řízení tohoto ventilu je realizováno z jedné části dvoustupňovým ovládáním (první stupeň magnetem, druhý stupeň pneumaticky) a z druhé strany pružinou. Dále jsou v tomto schématu znázorněny bezdotykové snímače polohy (s_1 a s_2). Toto schéma bylo ověřeno v laboratoři katedry hydrauliky a pneumatiky a zdokumentováno krátkým videm (*Přiložený disk*).

4.7.2 Návrh šroubů pro pevnou čelist svěráku

Při návrhu těchto šroubů se vycházelo z úvahy, že kolmo na šroub budou působit dvě síly. Upínací síla pneumatického kompaktního celku a síla nástroje působící v ose x.

NÁZEV	ZNAČKA	HODNOTA
Součinitel bezpečnosti proti přetížení	k_s	2,5
Bezpečnost proti prokluzu	k	1,4
Upínací síla	F_u	295 N
Součinitel smykového tření na závitu [5]	f_z	0,18
Součinitel neznámého krutu	β	1,4
Jakostní skupina	TP	5.6
Počet šroubů	z	4

Tab. 24 - Vstupní parametry pro návrh šroubu



Obr. 42 - Schéma pro návrh šroubu

a) Určení potřebných parametrů pro návrh a kontrolu šroubu

- pro výslednou bezpečnost byla potřeba upřesnit mez kluzu R_e , vycházelo se z jakostní skupiny šroubu

$$5.6 \Rightarrow R_e = 5 \cdot 6 \cdot 10 = 300 \text{ MPa} \quad (4.08)$$

- určení maximální síly, působící na šroub

$$F_{\max} = F_U + F_{N_x} = 295 + 42,3 = 337,3 \text{ N} \quad (4.09)$$

- určení celkové osově přepět'ové síly

$$F_{\max} \leq F_T \quad (4.10)$$

$$k \cdot F_{\max} = F_{0C} \cdot f_z$$

$$F_{0C} = \frac{k \cdot F_{\max}}{f} = \frac{1,4 \cdot 337,3}{0,18} = 2623,5 \text{ N} \quad (4.11)$$

- síla působící na jeden šroub

$$F_0 = \frac{F_{0C}}{z} = \frac{2623,5}{4} = 655,875 \text{ N} \quad (4.12)$$

b) Návrh průměru šroubu

$$\sigma_t \leq \sigma_{Dt}$$

$$\beta \cdot \sigma_t \leq \frac{R_e}{k_s}$$

$$\beta \cdot \frac{F_0}{S} \leq \frac{R_e}{k_s} \quad (4.13)$$

$$\frac{4 \cdot \beta \cdot F_0}{\pi \cdot d_3^2} \leq \frac{R_e}{k_s}$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot \beta \cdot F_0 \cdot k_s}{\pi \cdot R_e}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,4 \cdot 655,875 \cdot 2,5}{\pi \cdot 300}} = 3,12 \text{ mm} \quad (4.14)$$

- na základě tohoto výpočtu byl z tabulek zvolen šroub s vnitřním šestihranem **M4**

Rozteč P_n	0,7 mm
Střední průměr závitu d₂	3,545 mm
Malý průměr závitu d₃	3,141 mm

Tab. 25 - Parametry závitu

c) Pevnostní kontrola

- výpočet tahového napětí

$$\sigma_t = \frac{F_0}{S} = \frac{F_0}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{655,875}{\pi \cdot \left(\frac{3,141}{2}\right)^2} = 84,64 \text{ MPa} \quad (4.15)$$

- vyjádření síly v závitu

$$\operatorname{tg}(\varphi' + \psi) = \frac{F_z}{F_0} \Rightarrow F_z = F_0 \cdot \operatorname{tg}(\varphi' + \psi) \quad (4.16)$$

- redukovaný třecí úhel

$$\psi = \operatorname{arctg}\left(\frac{P_n}{\pi \cdot d_2}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,7}{\pi \cdot 3,545}\right) = 3,6^\circ \quad (4.17)$$

- úhel stoupání

$$\varphi' = \operatorname{arctg}\left(\frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,18}{\cos 30}\right) = 11,74^\circ \quad (4.18)$$

- výpočet napětí v krutu

$$\begin{aligned} \tau_k &= \frac{M_{Tz}}{W_k} = \frac{F_z \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{F_0 \cdot \operatorname{tg}(\varphi' + \psi) \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} \\ \tau_k &= \frac{655,875 \cdot \operatorname{tg}(3,6 + 11,74) \cdot \frac{3,545}{2}}{\frac{\pi \cdot 3,141^3}{16}} = 52,4 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (4.19)$$

- redukované napětí dle Guestovy hypotézy

$$\sigma_{RED} = \sqrt{(\sigma_t)^2 + 4 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{84,64^2 + 4 \cdot 52,4^2} = 134,7 \text{ MPa} \quad (4.20)$$

- výsledná bezpečnost šroubu

$$k_s = \frac{300}{134,7} = 2,23 \quad (4.21)$$

Tento šroub bude dostačující pro použití při této aplikaci (*běžná bezpečnost: 1,5 - 2,5*)

d) Utahovací moment

– skládá se ze dvou složek:

- třecí moment v závitě šroubu

$$M_{TZ} = \frac{d_2}{2} \cdot F_0 \cdot \operatorname{tg}(\varphi' + \psi) = \frac{3,545}{2} \cdot 655,875 \cdot \operatorname{tg}(11,74 + 3,6) = 318,91 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (4.22)$$

- třecí moment mezi hlavou šroubu a materiálem

$$M_{TH} = F_0 \cdot \frac{d_s}{2} \cdot f_H = F_0 \cdot \frac{d_{\max} + d_{\min}}{4} \cdot f_H = 655,875 \cdot \frac{7 + 4,3}{4} \cdot 0,1 = 185,3 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (4.23)$$

ds - střední průměr stykové plochy hlavy šroubu s montovaným dílem

f_H - součinitel tření hlavy šroubu s montovaným dílem

– výsledný moment je pak dán součtem těchto složek

$$M_U = M_{TZ} + M_{TH} = 318,91 + 185,3 = 504,21 \text{ N} \cdot \text{mm} \cong 0,5 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (4.24)$$

[1], [5]

4.7.3 Výpočet spotřeby stlačeného vzduchu

Z důvodu laboratorní úlohy byla tato spotřeba spočtena netradičně pro jeden pracovní cyklus, což znamená dva zdvihy.

NÁZEV	ZNAČKA	HODNOTA
Počet zdvihů	n	2
Zdvih	H	25 mm
Průměr pístu	D	25 mm

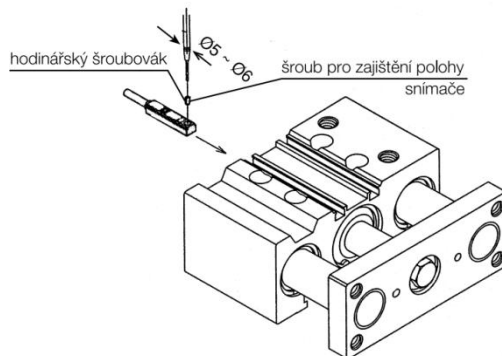
Tab. 26 - Vstupní parametry pro výpočet spotřeby vzduchu

$$Q = V \cdot n = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \cdot n = \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} \cdot 0,025 \cdot 2 = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ Nm}^3/\text{cyklus} \quad (4.25)$$

Celková spotřeba vzduchu pro dva pracovní cykly (4 zdvihy) bude $5 \cdot 10^{-5} \text{ Nm}^3$

4.7.4 Pokyny pro správné a bezpečné použití výrobku

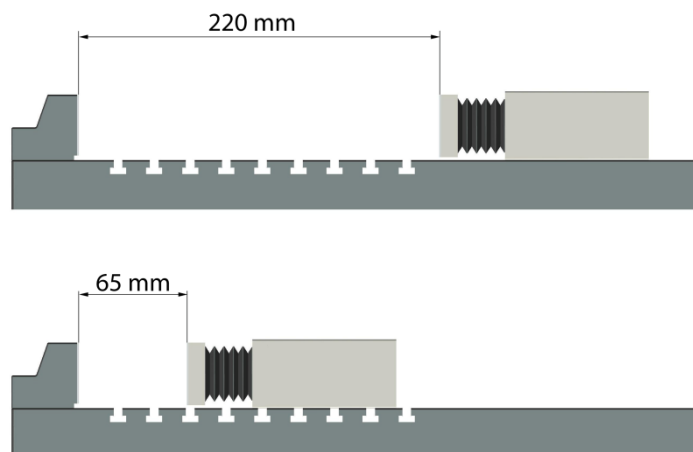
- A** Před připojením hadic k válci je nutné, aby se hadice pečlivě profoukly stlačeným vzduchem. Tím se odstraní veškeré mechanické nečistoty.
- B** Je potřeba zabránit poškozením pístnice a vodících tyčí, které by mohly způsobit poškození těsnění a vedly by k následným netěsnostem a k celkové chybné funkci pneumatického válce s vedením.
- C** Pro přimazávání stlačeného vzduchu je doporučeno použít turbínový olej ISO FG32 dle ISO3448. Není možné použít vřetenový nebo strojní olej.
- D** Bezdotykové snímače polohy jsou montovány do drážek umístěných přímo v tělese pneumatického válce. Montáž snímače je patrná z obrázku 43. [10]



Obr. 43 - Schéma montáže snímače polohy.

4.7.5 Konečné úpravy a řešení návrhu

Pracovní rozsah

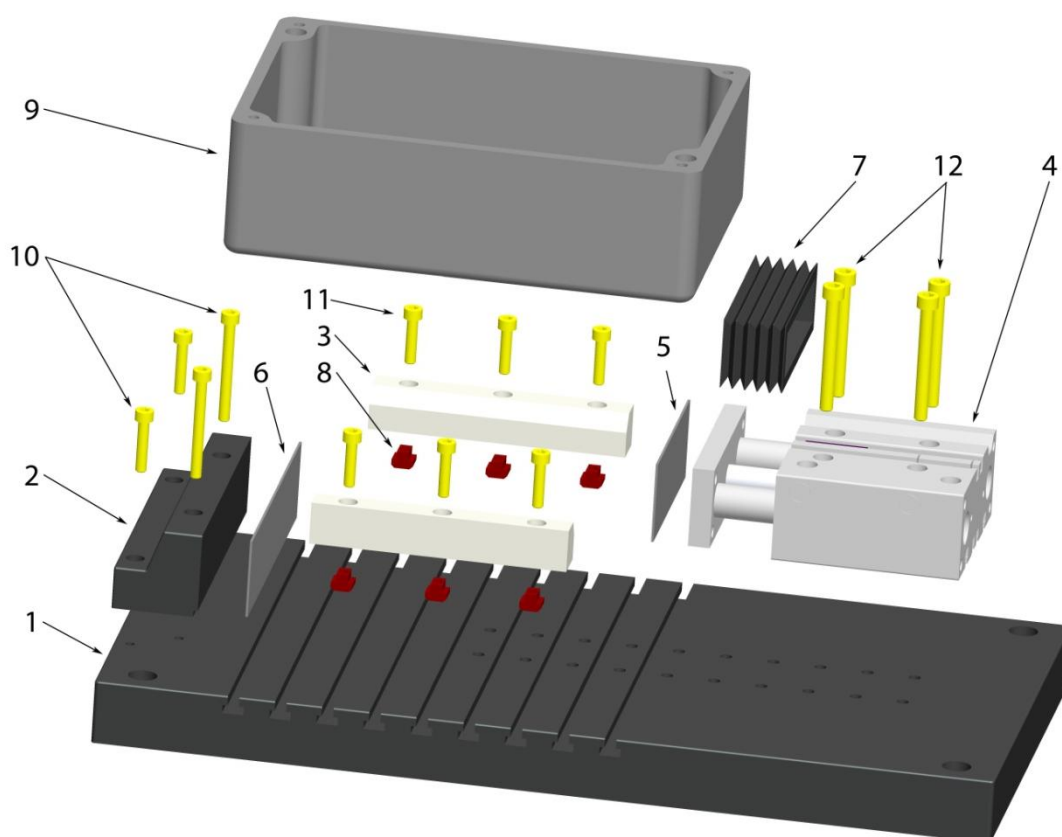
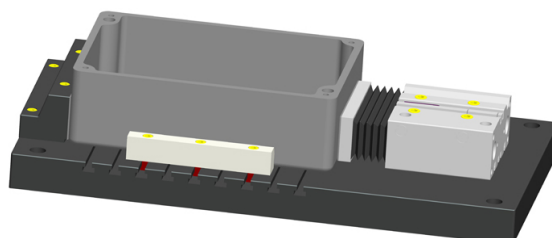


Obr. 44 - Pracovní rozsah

Z hlediska univerzality je možné pneumatický pohon s vedením posunout blíže k pevné čelisti. Je zde možnost upínání obrobků v rozsahu rozměrů 65 - 220 mm. Obrobek je upnut při 22 mm zdvihu z celkových 25 mm pneumatického celku. Důvodem je rezerva kvůli stlačitelnosti podložek z pryže na obou čelistech svěráku.

Na základě bezpečnostních pokynů z podkapitoly **4.7.4** byl dále vhodně zvolen kryt lineárního vedení v podobě skládaného měchu (poz. 7 na obr. 45), který je schopný odolávat vyšším teplotám. Na základě konzultací byl zvolen skládaný měch firmy Hestego [16], která je schopna dodat vyhovující rozměr tohoto krytu. Pod textem je uveden rozložený model pneumatického svěráku s popisem jednotlivých dílů.

- | | |
|-------------------------------|---------------------|
| 1 Základová deska | 7 Skládaný měch |
| 2 Pevná čelist | 8 T - Matice |
| 3 Boční příložka | 9 Objekt manipulace |
| 4 Pneumatický pohon s vedením | 10 Šrouby M4 |
| 5 Podložka z pryže | 11 Šrouby M5 |
| 6 Podložka z pryže | 12 Šrouby M5 |



Obr. 45 - Rozložený model svěráku s pozicemi jednotlivých komponentů

U tohoto svěráku bylo snahou navrhnout univerzální a ekonomicky nenáročnou konstrukci. V bodě **4.11** (Stránka 57) je uvedena cena jednotlivých komponentů (nakupovaných i vyráběných). Dále byly teoreticky vyřešeny potřebné snímače. Více k této problematice je uvedeno v bodě **4.12** (Stránka 59).

4.8 Časová studie technologické operace

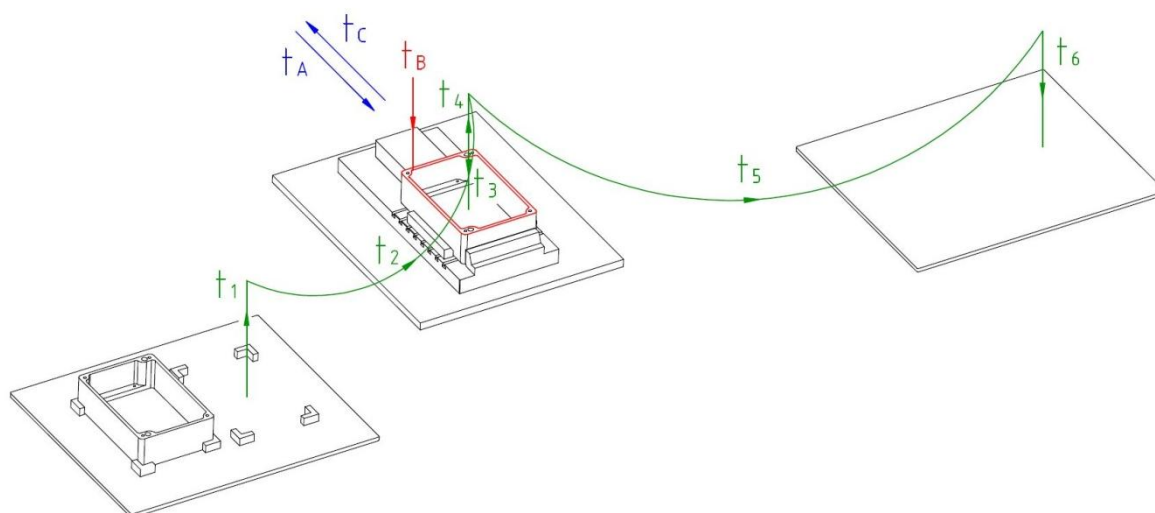
Tato studie byla rozdělena na dva typy časů:

a) Časy manipulační $t_1 \dots t_n$

- veškerá manipulace s OM

b) Časy operační t_A, t_B, t_C

- upnutí OM svěrákem
- vlastní odhrotování



Obr. 46 - Schéma pro časovou studii

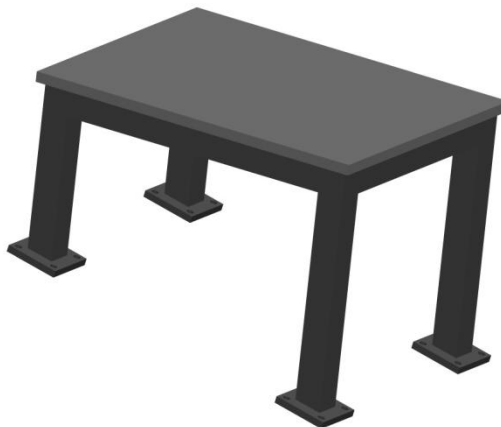
ČAS	CHARAKTERISTIKA	DOBA TRVÁNÍ [s]
t_1	Uchopení OM a jeho pohyb kolmo vzhůru z definované pozice	6
t_2	Otočení robotu s OM nad pozici ve svěráku	2
t_3	Umístění OM ve svěráku	4
t_A	Upnutí OM ve svěráku	2
t_B	Provedení odhrotování vybraných hran OM	8
t_C	Povolení OM ve svěráku	2
t_4	Uchopení OM a jeho vyjmutí pohybem kolmo vzhůru	6
t_5	Otočení robotu s OM nad pozici odkládacího stolu	2
t_6	Umístění OM do odkládacího stolu	3
CELKOVÝ ČAS JEDNOHO PRACOVNÍHO CYKLU		35 s

Tab. 27 - Časová studie jednoho pracovního cyklu

Do časů t_1 a t_4 je započteno najetí robotu z výchozí polohy do pozice pro uchopení OM. Časy jednotlivých aplikací jsou voleny tak, aby robot nebyl zbytečně dynamicky namáhán, protože se jedná o laboratorní úlohu, kde je čas irelevantní.

4.9 Návrh pracovního stolu pro upnutí svěráku

Jelikož dostupné stávající konstrukce nevyhovují k použití do návrhu pracoviště, je nutné navrhnout jednoduchý pracovní stůl pro upnutí svěráku. Tato konstrukce se skládá z jednoduchých ocelových profilů a plechu. Stůl byl řešen v robustnějším provedení z důvodu univerzálnosti. Do stolu budou vyřezány závity a přišroubován pneumatický svěrák.



Obr. 47 - Pracovní stůl

4.10 Návrh odkládacích stolů pro roboty

Ke stávajícím podstavcům byla rovněž navržena jednoduchá konstrukce z ocelových profilů a plechu. Odkládací stoly budou přišroubovány k podstavcům pro roboty z důvodu, že by při jiných laboratorních aplikacích mohly vadit. Na tento stůl by dále musely být aplikovány příložky, které by zajistily geometrickou polohu OM.



Obr. 48 - Odkládací stůl

4.11 Cenová studie

V tomto návrhu jsou pouze uvedeny ceny jednotlivých nakupovaných nebo vyráběných komponentů pracoviště. Nejsou zde uvedeny ceny potřebných čidel a komponentů pneumatiky.

Komponenty	Díly	Množství [ks]	Výrobce	Cena [Kč]
Efektory JGP	Úchopový modul	2	Schunk	21 540
	Úchopové prvky	4	-	7 000
	Příruba	2	-	9 000
Technologická hlavice FBD	Technologický modul	1	Schunk	125 400
	Nástroj (fréza)	1	HB - Technik	826
	Příruba	1	-	7000
Konstrukce	Pracovní stůl	1	-	1 200
	Odkládací stůl	2	-	1900
Pneumatický svěrák	Pneumatický pohon	1	SMC	8 200
	Podložky z pryže (pevná čelist)	1	Rubena	16
	Podložka z pryže (pohyblivá čelist)	1	Rubena	25
	Skládaný měch	1	Hestego	400
	Základová deska	1	-	7500
	Pevná čelist	1	-	640
	Boční příložka	2	-	920
	T - Matice	6	Kutil 102	90
	Šrouby M4	4	-	5
	Šrouby M5	10	-	14
Celkem				191 676 Kč

Tab. 28 - Cenová studie

Ceny nakoupených komponentů jsou uvedeny s maximální možnou přesností na základě konzultací se zastupiteli jednotlivých firem, případně ceníků na internetu. Ceny vyráběných dílů (základová deska, boční příložky atd.) jsou uvedeny na základě konzultací s konstruktéry strojírenské firmy MSA Dolní Benešov. Ceny vyráběných dílů jsou uvedeny včetně cen polotovarů.

4.12 Teoretické řešení potřebných aplikací při praktickém použití

Na základě domluvy s vedoucím této bakalářské práce byly tyto části práce vyřešeny pouze teoreticky

Odvod třísek a krytování

V laboratoři by se tato aplikace měla pouze simulovat, bez následných odpadů. V praxi by se muselo použít například odsávání třísek z pracovních míst při automatickém cyklu, případně ometení a očištění pracovních míst po určitém počtu aplikací pracovníkem při poloautomatickém cyklu. Problém konkrétně u této aplikace je ten, že třísky se snadno mohou dostat do vnitřního prostoru objektu manipulace. Tento problém by se dal vyřešit opět případným automatizovaným odsáváním, nebo další aplikací přidanou za tento pracovní cyklus. Dále by se v praxi muselo řešit krytování tohoto pracovního místa z důvodu nebezpečí úrazu odlétávajícími třískami.

Kontrola nástroje

Dále by se musela provést kontrola nástroje, po každém, nebo určitém množství pracovních cyklů. V dnešní době v praxi se aplikuje použitím snímače pro kontrolu celistvosti nástroje. Při určení vhodného snímače se musí brát v úvahu tyto skutečnosti:

- Jaký druh opracování se používá (rotační, lineární, jiný)
- Jak velký je nástroj
- Zda se celistvost nástroje kontroluje za provozu či v parkovací poloze
- Zda se jedná o prašné prostředí, prostředí s vysokými teplotami nebo řeznou kapalinou
- Jak velké poškození je definováno jako chybový stav
- Cena

Na základě těchto upřesňujících informací byl jako vhodné použitelné řešení navržen kamerový snímač s červeným světlem a krátkým objektivem VeriSens 1200 od firmy Ajp - Tech. Kamera má rozlišení kontur 0,1 mm, dokáže porovnat kontury se vzorem a taky změřit vzdálenost a úhel mezi dvěma konturami. Dále musí být tato detekce doplněna o možnost otočení nástroje o definovaný úhel, aby případné poškození nebylo zastíněno nevhodným otočením nástroje. V praxi by se dále muselo dořešit očištění nástroje od třísek a jiných nečistot, před provedením samotné kontroly nástroje.



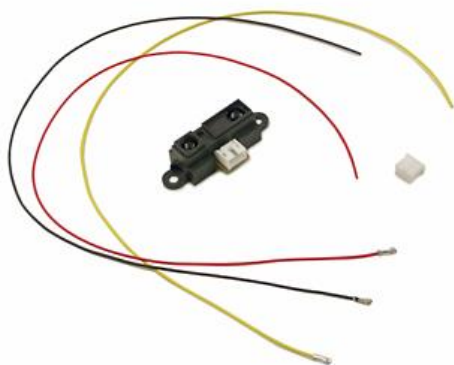
Obr. 49 - Snímač VeriSens

Snímače

Dále je nutné vyřešit veškeré potřebné snímače pro svěrák a efektory. Výhodou je, že ve válci MGP jsou integrovány bezdotykové snímače polohy. Bylo tedy potřebné aplikovat snímač, který detekuje přítomnost OM ve svěráku. Naskytuje se vysoká škála možných řešení těchto snímačů. Jako jednoduché řešení připadlo v úvahu použití vhodného optického snímače, který může pracovat na principu optické závoře nebo na principu odrazu, kdy je vysílač s přijímačem umístěn v jednom krytu. Při použití pouze při simulaci technologie v laboratoři nemusí být brán zřetel na negativní vlivy prostředí

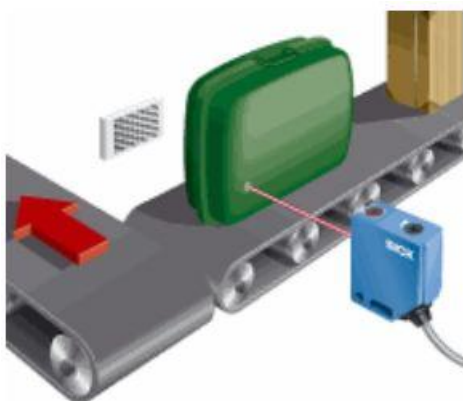
(prašnost, odlétávající třísky, řezná kapalina apod.).

V této aplikaci by byl velmi vhodný například snímač Sharp, který detekuje předměty ve vzdálenosti od 40 do 300 mm. Tento snímač je navržen pro měření vzdálenosti, ale může být použit právě pro detekci překážek. Pracuje na principu odrazu. Výhodou je cena, která se pohybuje kolem 220 Kč.



Obr. 50 - Snímač Sharp

[21]



Při praktickém použití je zapotřebí zvolit odolnější snímač vůči nečistotám, prachu a jiným negativním vlivům. Vhodným řešením by byl například laserový snímač WL firmy Sick. Jedná se o vysílač a přijímač v jednom krytu. Typ tohoto snímače je dále upřesněn na základě požadavků na prostředí, ve kterém se bude aplikovat.

Obr. 51 - Laserový snímač WL

[20]

U efektorů JGP se nejčastěji používají magnetické snímače MMS dodávané spolu s efektozem, případně je možné použít i indukční senzory IN. Technologická hlavice FBD 300 žádné snímače neobsahuje.

[21], [23]

5 Závěr

Zadáním této práce bylo navrhnout robotizované technologické pracoviště s roboty ABB IRB 140. Závěr je z důvodu přehlednosti členěn do odstavců, kdy každý odstavec odpovídá dané kapitole.

V úvodní části této práce byla provedena rešerše na problematiku možnosti využití robotů ABB v laboratoři UCR. Rešerše byla pojata ve stylu popsání základních vlastností a parametrů robotu s analýzou technologií, ve kterých se tento robot aplikuje. Na konci kapitoly bylo provedeno krátké vyhodnocení technologií vhodných pro použití v laboratoři UCR, kde se musely brát v úvahu zejména hygienické požadavky pracoviště.

V druhé kapitole jsou uvedeny požadavky kladené na pracoviště. Na jejich základě byl proveden návrh tří variant technologického pracoviště se třemi roboty IRB 140. Tyto jednotlivé varianty byly dále podrobněji popsány a pro ukázkou byly vypracovány 3D modely jednotlivých pracovišť v programu Pro/Engineer. Z již zmíněných důvodů byly v návrhu použity pouze dvě technologie. Montáž a odhrotování.

Dále byla vypracována hodnotová analýza, ze které vzešla optimální varianta řešení. Nejdříve byly navrženy hodnoty kritérií, které jsou klíčovým momentem pro uplatnění hodnotové analýzy, poté byla zvolena vhodná stupnice hodnocení. Na základě metody trojúhelníku párů, provedené třemi znalci, byly vyhodnoceny počty voleb potřebné k určení váhy významnosti. Následovalo určení vážených indexů jednotlivých kritérií, kdy jejich nejvyšší součet znázorňoval výslednou variantu řešení. Z této analýzy byla vyčleněna optimální varianta řešení - odjehlování.

V této kapitole byla detailně popsána optimální varianta. V úvodu byl navržen objekt manipulace jako jednoduchý hliníkový odlitek. Tento materiál je z důvodu malé nosnosti robotu velmi vhodný pro odhrotování. Při návrhu objektu manipulace musel být brán zřetel na hmotnost obrobku a vzdálenost jeho těžiště od koncového bodu robotu. To z důvodu, aby nebyl robot (zápětní robotu) přetěžován. Na základě tohoto návrhu byla vypočtena úchopová síla. Správnost výpočtu byla ověřena dvěma různými metodami výpočtu. Obecnou úvahou zatížení a následným výpočtem pomocí programu firmy Schunk. Následně byl zvolen vhodný efektor, konkrétně modul s paralelními úchopovými prvky rovněž firmy Schunk. Tento efektor je univerzální, takže by se dalo patřičnou

změnou úchopových prvků uvažovat i s použitím v jiných aplikacích. V dalším kroku byla zvolena technologická hlavice pro vlastní technologickou operaci - odjehlování. U tohoto návrhu nastal problém v určení řezné síly, která je pro tento návrh podstatná. Tato síla se určuje praktickými zkouškami, případně zkušenostmi pracovníků. Na základě těchto prognóz a konzultací byla zvolena vhodná technologická hlavice rovněž společnosti Schunk. Tato hlavice je vzhledem ke své malé hmotnosti velmi vhodná pro tuto technologickou operaci. Poté byl k této hlavici zvolen vhodný nástroj. V dalším kroku následovalo samotné konstrukční řešení vybraného uzlu. Pro tento návrh byl zvolen svěrák potřebný k upnutí obrobku při technologické operaci. V úvodu byla provedena krátká analýza svěráků, vhodných pro tuto aplikaci a byly uvedeny moderní trendy v tomto odvětví. Analýza dále vedla k nalezení vhodných komponentů pro tento návrh. Na základě této rešerše byly navrženy dvě varianty svěráků. Z důvodu automatizace byly jako energie zvoleny stlačený vzduch a elektrická energie. Při návrhu jednotlivých alternativních variant řešení se vycházelo z určení úchopové síly potřebné k bezpečnému upnutí obrobku. Tato síla vycházela z maximální síly technologické hlavice působící na obrobek. Na základě této úvahy byl pro pneumatický svěrák zvolen kompaktní celek typu MGP firmy SMC, který všemi směry vyhovuje kladeným požadavkům. Při návrhu tohoto svěráku se uvažovalo, že by mohl mít v budoucnu univerzálnější použití, proto byly pro tento případ vhodně navrženy ostatní komponenty. Tyto součásti jsou přišroubovány k pevnému základu, který je pevně spojen s pracovním stolem. Na dotykové plochy čelistí s objektem manipulace byly aplikovány podložky z pryže, čím se odstraní případné poškození povrchu obrobku. Dále byly použity boční příložky, které zajistí ustavení obrobku v geometrické pozici. Při návrhu elektrického svěráku se vycházelo z obdobných vstupních parametrů, jako u pneumatického. Jako pohon byl zvolen krokový motor typu LEY rovněž od firmy SMC. V dnešní době má tato firma dostupné kompaktní celky, v podobě krokového motoru a lineárního vedení, ale jelikož jsou tyto celky zatím novinkou, nebylo možné je z důvodu nedostupných parametrů zařadit do návrhu. K tomuto motoru se tedy muselo zvolit vhodné lineární vedení. Jako nejvhodnější a nejjednodušší možnou variantou se jevílo použití uzavřených lineárních setů, v podobě hliníkového domečku a kuličkového pouzdra v něm nalisovaném a vodících tyčí firmy T.E.A. - Technik. Následně byly tyto dvě alternativní varianty svěráku krátce zhodnoceny a vybrána optimální varianta řešení. Na základě tohoto zhodnocení byl pro tuto aplikaci zvolen pneumatický svěrák. Tato varianta je dále podrobněji popsána. Bylo navrženo obvodové schéma pneumatického obvodu, který se následně vyzkoušel a ověřil v laboratoři katedry hydrauliky a pneumatiky. Dále následovaly potřebné kontroly spojovaných dílů a výpočet spotřeby vzduchu, která se z

důvodu laboratorní úlohy provedla pro jeden cyklus (2 zdvihy válce). V konečné fázi popisu pneumatického svěráku byly uvedeny pokyny pro správné a bezpečné použití pneumatického kompaktního celku MGP. Na základě těchto pokynů byl zvolen skládaný měch, zabraňující vniku třísek a jiných nečistot do prostoru pístnice a lineárního vedení. V dalším bodě je provedena časová studie aplikace odhrotování. Pro kompletaci návrhu technologického pracoviště následoval krátký popis konstrukcí, které by se musely v případě realizace vyrobit. V konečné fázi této práce byla jednoduše vyřešena cenová studie jednotlivých komponentů, pojatá v zjištění cen jak koupených dílů, tak vyráběných. Na závěr bylo provedeno teoretické řešení potřebných aplikací při použití v praxi, které se skládalo z vyřešení odvodu třísek, případně krytování pracoviště, kontroly nástroje a navržení potřebných snímačů. Pro kontrolu nástroje byl na základě potřebných kritérií zvolen snímač, který pro tuto aplikaci plně vyhovuje.

Při simulaci tohoto pracoviště v laboratoři by se při realizaci musela vyřešit alternativní náhrada za cenově velmi náročnou technologickou hlavici FBD 300. Dále by se musela dopracovat veškerá potřebná výkresová dokumentace úchopových prvků a příruby pro efektory, případně jednoduchý návrh, který je uveden v této práci, více rozpracovat. V poslední řadě by musely být při realizaci určeny bezpečnostní pokyny, které by chránily zařízení před poškozením a operátory před zraněním.

6 Reference

6.1 Použitá literatura

- [1] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Úvaly: Albra - pedagogické nakladatelství, 2003. 866 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [2] SKAŘUPA, Jiří; ZELINA, Pavel. *Hlavičky průmyslových robotů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1993. 105 s. ISBN 80-7078-210-2.
- [3] TALÁCKO, Jaroslav; MATIČKA, Robert. *Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. Praha: ČVUT, 1995. 237 s. ISBN 80-01-01291-3.
- [4] KOPÁČEK, Jaroslav; ŽÁČEK, Miloslav. *Pneumatické zařízení strojů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. 94 s. ISBN 978-80-248-0442-2.
- [5] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. 95 s. ISBN 978-80-248-1290-8.

6.2 Internetové zdroje

- [6] BURKOVIČ, Jan. *Navrhování RTP* [online]. Ostrava: Katedra robototechniky (VŠB - Technická univerzita Ostrava), 2002, 2009 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://robot.vsb.cz/files/resources/navrhovani-rtp.pdf>>. ISBN 80-248-0217-1.
- [7] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Ediční středisko (VŠB - Technická univerzita Ostrava), 2007 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://robot2.vsb.cz/elekskripta/pram/index.html>>. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [8] KONEČNÝ, Zdeněk. *Základy technické dokumentace* [online]. Ostrava: Katedra robototechniky (VŠB - Technická univerzita Ostrava), 2009 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z WWW: <http://robot2.vsb.cz/elekskripta/technicka_dokumentace/titulni_strana.htm>. ISBN 80-248-0217-1.
- [9] *Abb.cz* [online]. c2010 [cit. 2010-04-05]. IRB 140. Dostupné z WWW: <<http://www.abb.cz/product/seitp327/3939903968123b1fc125726f0043b847.aspx>>.
- [10] *Smc.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-04-05]. Pohony s vedením. Dostupné z WWW: <<http://2009.oc.smc-cee.com/cz/index.asp>>.
- [11] *Schunk.com* [online]. c2010 [cit. 2010-04-27]. Produkty. Dostupné z WWW: <http://www.cz.schunk.com/schunk/schunk_websites/products/products_level_1_overview_typ6.html?country=CZE&lngCode=CZ&lngCode2=DE>.
- [12] *York.cz* [online]. c2010 [cit. 2010-05-15]. Upínací nářadí. Dostupné z WWW: <<http://www.york.cz/category.do?categoryId=11>>.
- [13] *Homge.com* [online]. 1978, 2010 [cit. 2010-05-15]. Homge Machinery. Dostupné z WWW: <<http://www.homge.com.tw/index.html>>.

- [14] Hbtech.cz [online]. c2006, 2010 [cit. 2010-05-15]. Technické frézy. Dostupné z WWW: http://www.hbtech.cz/fileadmin/user_upload/produkty/02_techicke_frezy/technicke_frezy_kuzelove_obraceny_kuzel.pdf.
- [15] Ajptech.cz [online]. c2009, 2010 [cit. 2010-05-15]. Kamerové snímače. Dostupné z WWW: <http://www.ajptech.cz/novinky/verisens-komplet/?search=Verisens>.
- [16] Hestego.cz [online]. c2008, 2010 [cit. 2010-05-15]. Skládané měchy s lamelami. Dostupné z WWW: <http://www.hestego.cz/produkty/kryci-mechy/elasticke-skladane-mechy-s-lamelami/>.
- [17] Rubena.cz [online]. c2004, 2010 [cit. 2010-05-15]. Pryž. Dostupné z WWW: <http://www.rubena.cz/default.asp?CatID=1933&TYPTREE=1>.
- [18] Teatechnik.cz [online]. c2007 [cit. 2010-05-15]. Vodicí tyče a kuličková pouzdra. Dostupné z WWW: <http://www.teatechnik.cz/katalog/tyce-pouzdra/kulickova/>.
- [19] Hypertextbook.com [online]. c2010 [cit. 2010-05-15]. Coefficients of Friction for Rubber. Dostupné z WWW: <http://hypertextbook.com/facts/2005/rubber.shtml>.
- [20] Sick.cz [online]. c2010 [cit. 2010-05-16]. Reflexní světelné závory. Dostupné z WWW: <http://www.sick.cz/cz/produkty/00/0/06/cs.html>.
- [21] Acroname.com [online]. 1994, 2010 [cit. 2010-05-16]. Sharp GP2D120 IR Sensor. Dostupné z WWW: <http://www.acroname.com/robotics/parts/R146-GP2D120.html>.

6.3 Katalogy

- [22] *Vodicí tyče a kuličková pouzdra*. Brno: T.E.A. - Technik, 2009. 32 s. Dostupné z WWW: <http://www.teatechnik.cz/katalogy-stazeni/>.
- [23] *Uchopovací moduly JGP*. Německo: Schunk, 2009. 41 s. Dostupné z WWW: http://www.schunk.com/SCHUNK_CADENAS/files/JGP_english.pdf.
- [24] *Series MGP*. SMC Pneumatik GmbH Austria: SMC, 2009. 3 s. Dostupné z WWW: http://2009.oc.smc-cee.com/cz/pdf/MGP-A_TEC.pdf.

6.4 Akademické práce

- [25] CHURA, Zdeněk. *Návrh efektoru(ů) pro IRB140 ABB*. Ostrava, 2009. 74 s. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.

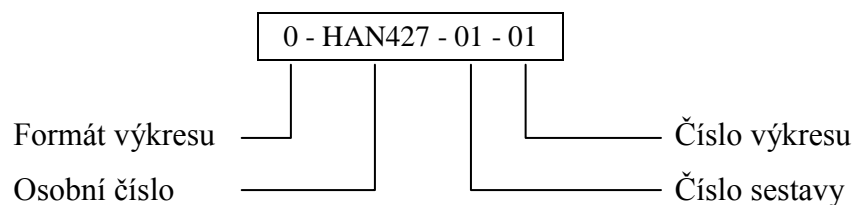
7 Seznam příloh

7.1 Dokumentace

- A** Rozměry pracovního prostoru robotu IRB 140
- B** Interface robotu IRB 140
- C** Návrh úchopové síly programem SSG 1702
- D** Kompletní 3D model finální varianty pracoviště
- E** Kompletní 3D model finální varianty svěráku

7.2 Výkresová dokumentace

Legenda k číselnému značení výkresů



Dispozice pracoviště

- 0 - HAN427 - 01 - 01

Dispozice haly

- 3 - HAN427 - 01 - 02

Svěrák

- 2 - HAN427 - 02 - 01

Základová deska

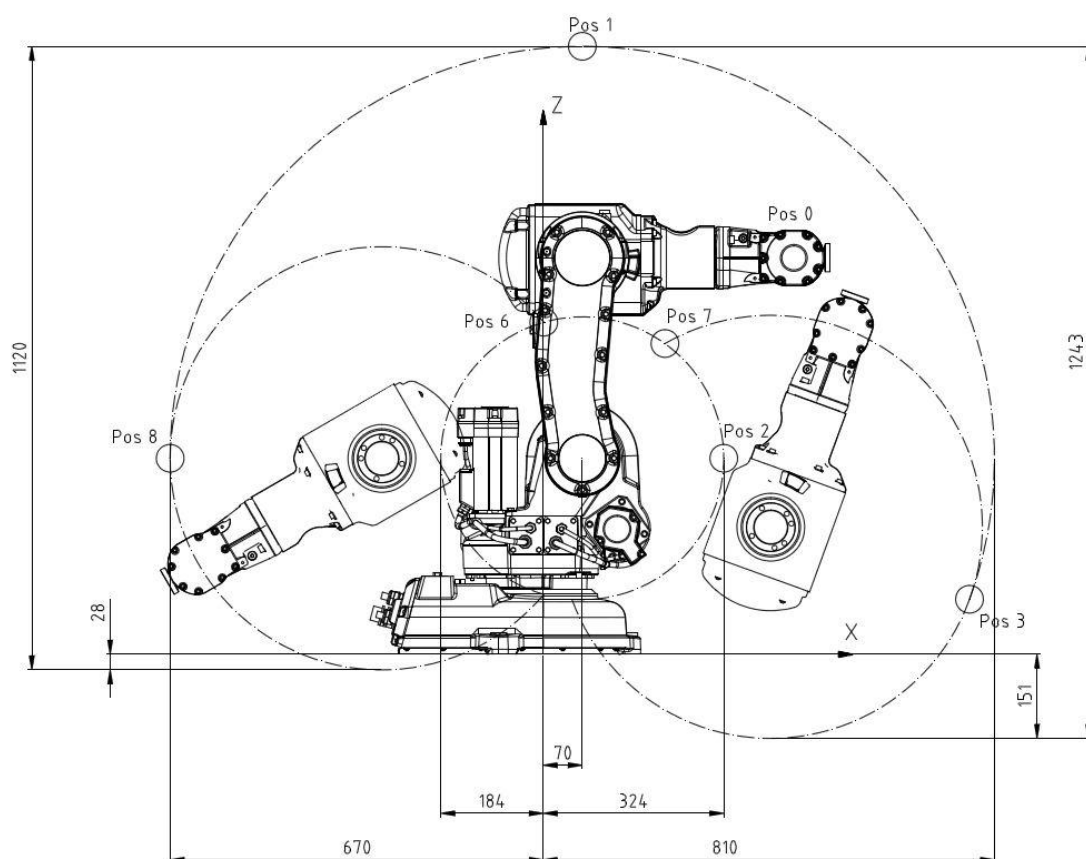
- 3 - HAN427 - 02 - 02

7.3 Přiložený disk

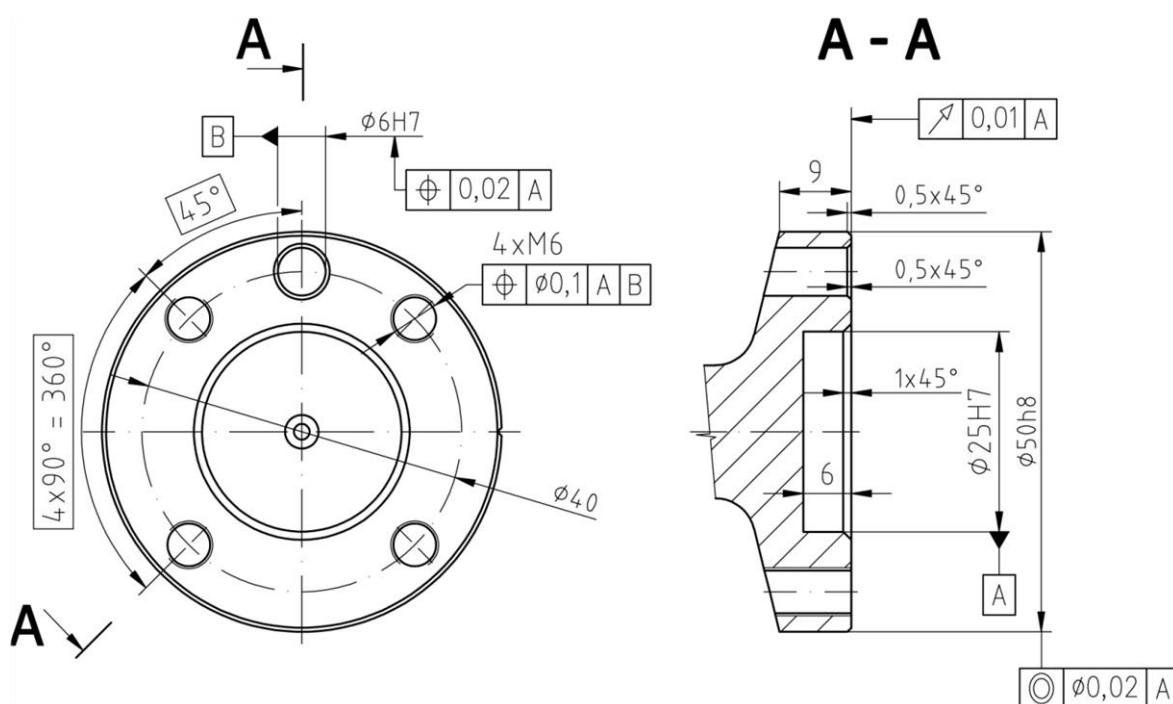
- Bakalářská práce v elektronické podobě (formát *.pdf)
- Výkresová dokumentace (AutoCAD 2006, 2009 a *.pdf)
- 3D model finální varianty pracoviště
- 3D model finální varianty svěráku
- Video zkoušky pneumatického obvodu

8 Přílohy - dokumentace

A Rozměry pracovního prostor robotu



B Interface robotu ABB IRB 140



Postup návrhu

1. Zadání druhu výpočtu
2. Základní specifikace chapadla
 - Typ chapadla
 - Orientace chapadla
3. Specifikace úchopového prvku
 - Tvar objektu manipulace (OM)
 - Typ uchopení OM
 - Tvar kontaktní plochy při uchopení OM
 - Geometrické parametry
 - Maximální váha jednoho prstu efektoru
 - Materiál kontaktní plochy prstu s OM
4. Specifikace objektu manipulace
 - Materiál OM
 - Koeficient tření mezi úchopovým prvkem efektoru a OM
 - Hmotnost OM
 - Geometrické parametry
5. Specifikace maximálního zatížení
 - Druh zatížení
 - Osa, ve které je zatížení realizováno
 - Zrychlení robotu
 - Bezpečnost

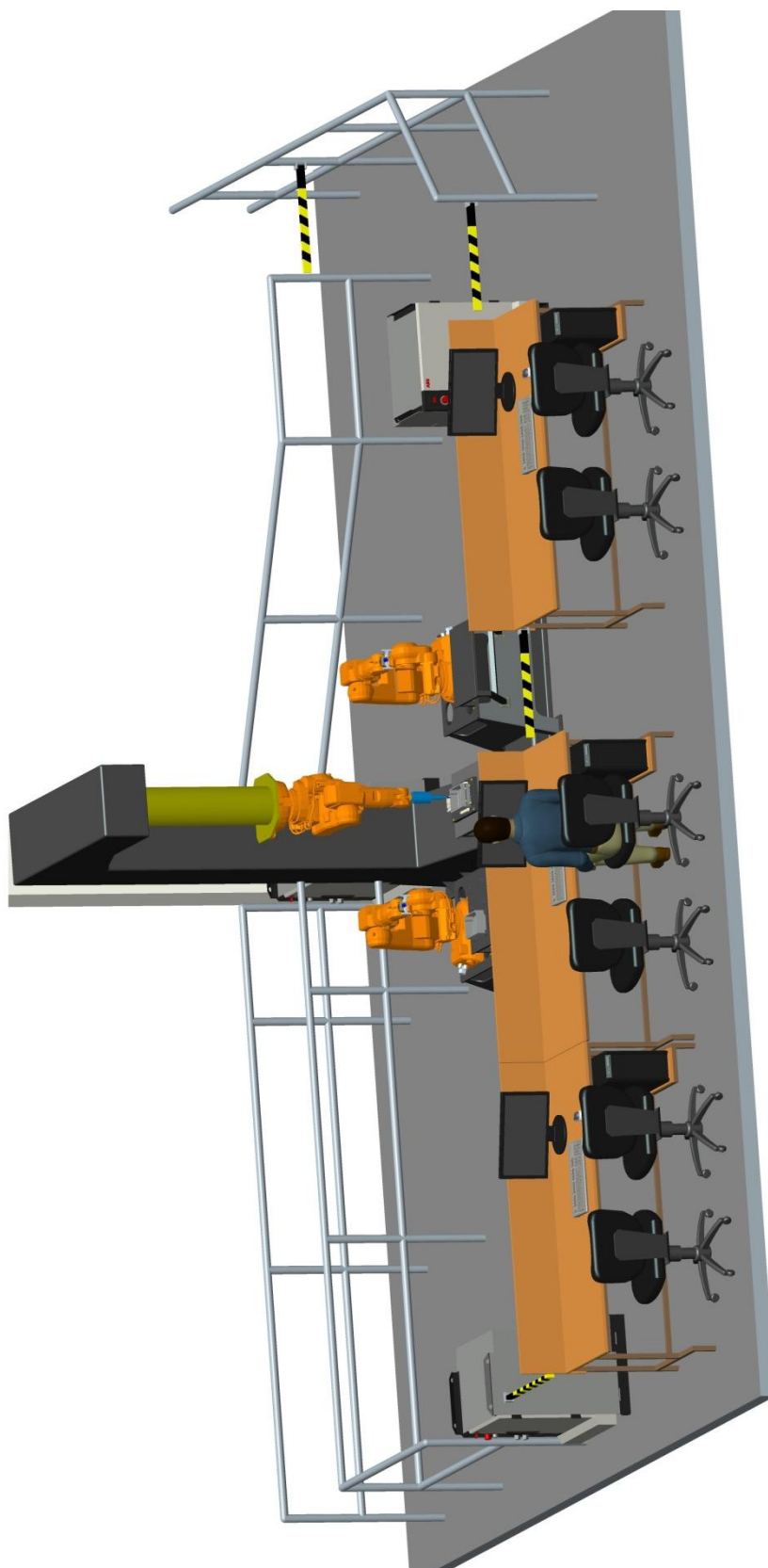
ZADANÉ HODNOTY

Selection of SCHUNK Grippers			
Calculation			
Kind of calculation		Construction	▼
Gripper			
Type of gripper		Parallel Grippers	▼
Confine calculation to one gripper type series		not confined	▼
Orientation of gripper		hanging gripper	▼
Finger			
Kind of gripping		friction grip	▼
O.D. or I.D. gripping		I.D. gripping	▼
Round or rectangular contact area		rectangular	▼
Height of contact area		A =	60 mm
Width of contact area		B =	18 mm
Minimal necessary stroke per finger		hub_min =	5 mm
Height of gripping point above top edge of gripper		H_DP =	51 mm
Side overhang of gripping point		S_DP =	0 mm
Mass of one finger		m_F =	0.3 kg
Material of the finger at contact face		rubber	▼
Workpiece			
Material of the workpiece at contact face		aluminium	▼
Friction coefficient		μ =	0.5
Mass of workpiece		m_W =	1.4 kg
Gripping width		C =	138 mm
Height of center of gravity of the workpiece above the top edge of gripper		H_SP =	51 mm
Side overhang of center of gravity		S_SP =	0 mm
Loads			
Load 1			
Kind of load		Acceleration of the gripper	▼
Direction of load		Z direction	▼
Acceleration		a_1 =	10 m/s ²
Load 2			
Kind of load		no additional load	▼
Ancillary Conditions			
Gripper's environment		standard clean environment	▼
Operating pressure		p =	6 bar
Mechanical gripper safety		grippers with or without mechanical gripper s...	▼
Safety factor		S =	2.5

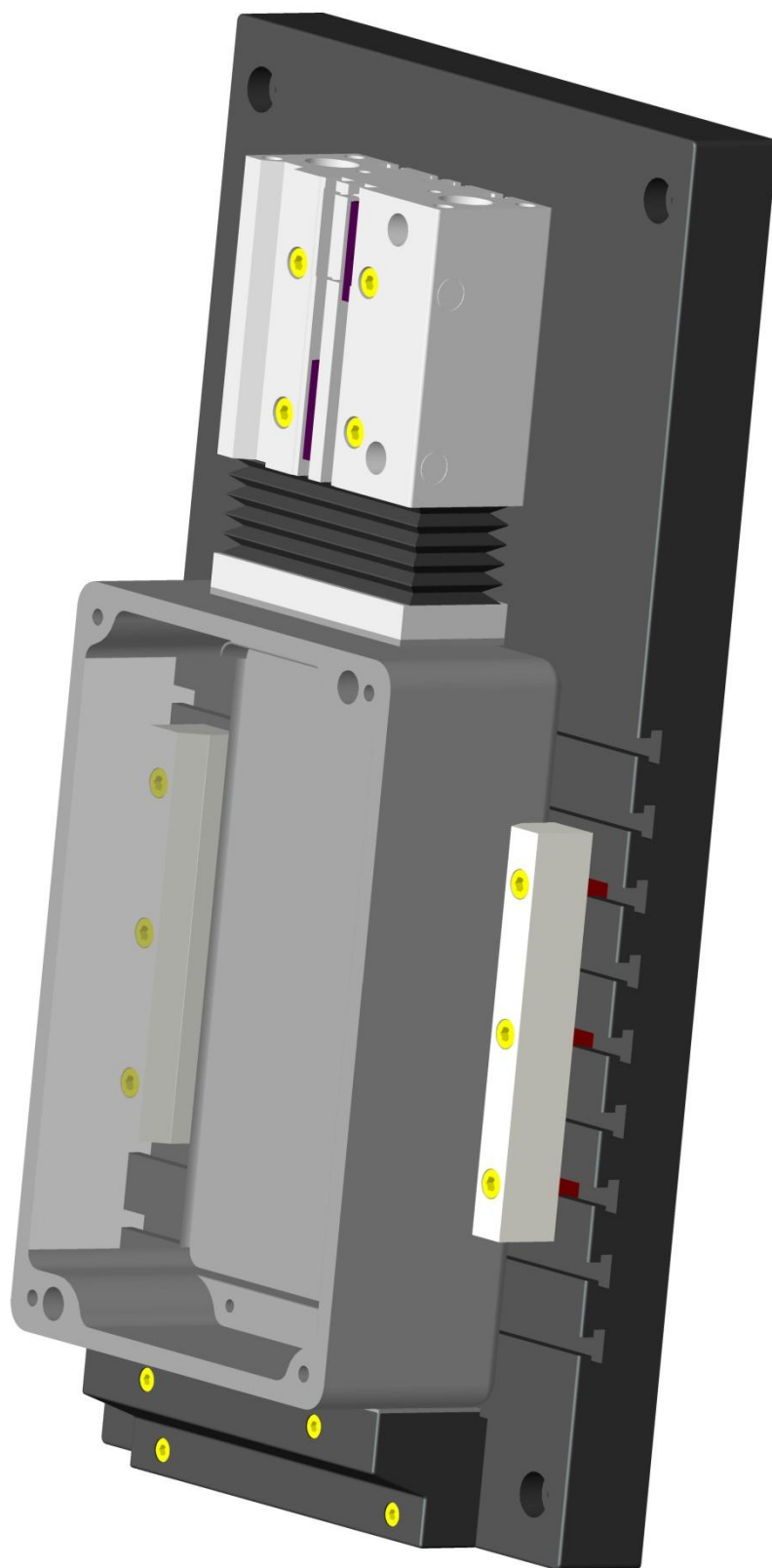
VÝSLEDEK

Gripper name		: JGP 64-1
Gripper ID		: 308620
Gripper type		: Parallel gripper
Minimal required overall gripper force without safety		= 55.468 N
Minimal required overall gripper force with safety		= 138.670 N
Nominal gripper force (at 6 bar pressure)	F_nom	= 270.000 N
Actual gripper force (at chosen operating pressure)	F_tats	= 270.000 N
Real safety		= 4.868
Number of movement with highest required force		: 1

D Kompletní 3D model finální varianty pracoviště



E Kompletní 3D model finální varianty svěráku



Poděkování

Na závěr bakalářské práce bych chtěl poděkovat mému vedoucímu panu Ing. Janu Burkovičovi Ph.D. za užitečné rady a odborné vedení při zpracovávání této práce. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mi při tvorbě této práce věnovali svůj čas a ochotně se mnou spolupracovali.